

MEJORAMIENTO DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA A ESCALA 1:10.000
APOYADO EN AVANCES DE LAS EXPLOTACIONES CARBONÍFERAS PARA
LOS TÍTULOS MINEROS 7238, 7239, 7240, 7241 Y 7615 DE LA EMPRESA
COOPROCARBON

JORGE LUIS PATIÑO DURAN

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
SOGAMOSO
2017

MEJORAMIENTO DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA A ESCALA 1:10.000
APOYADO EN AVANCES DE LAS EXPLOTACIONES CARBONÍFERAS PARA
LOS TÍTULOS MINEROS 7238, 7239, 7240, 7241 Y 7615 DE LA EMPRESA
COOPROCARBON

JORGE LUIS PATIÑO DURAN

PRÁCTICA EMPRESARIAL

PhD. JORGE ELIECER MARIÑO MARTINEZ

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
SOGAMOSO
2017

Nota de Aceptación

Director del Proyecto

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Sogamoso, 31 de Julio de 2017

DEDICADO A

Se dedica este proyecto a Dios,
quien puso en mi camino las
personas correctas, los mejores
afloramientos, buenos paisajes,
excelente clima entre otros
elementos indispensables para el
desarrollo de este proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece inmensamente al Ingeniero Carlos Enrique Sierra por su continua asesoría y acompañamiento en la comprensión de los fenómenos geológicos encontrados en la zona de estudio. Se agradece igualmente al Doctor Jorge Eliecer Mariño por hacer parte de este proyecto tomando de su tiempo para asesorarme e ilustrarme con sus conocimientos, además por sus revisiones y correcciones para la obtención de este informe final. Se agradece también al ingeniero Oscar Barrera por su apoyo en el desarrollo de este proyecto compartiendo al autor conocimientos de la geología en estudio. Finalmente se agradece al Ingeniero Mauricio Fonseca por abandonar sus horas de descanso para asesorar la parte técnica en el desarrollo cartográfico aquí propuesto.

CONTENIDO

| | Pág. |
|--|------|
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 15 |
| 2. OBJETIVOS | 16 |
| 2.1 OBJETIVO GENERAL | 17 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 17 |
| 3 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA..... | 17 |
| 3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 19 |
| 3.2 JUSTIFICACIÓN | 19 |
| 4. RECURSOS | 20 |
| 4.1 RECURSOS HUMANOS..... | 21 |
| 4.2. RECURSOS FÍSICOS..... | 21 |
| 5. METODOLOGIA | 22 |
| 5.1 FASE DE RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA..... | 23 |
| 5.2 FASE DE AGRUPAMIENTO DE LA INFORMACIÓN POR TÍTULO MINERO..... | 24 |
| 5.3 FASE DE CONVERSIÓN Y PROCESAMIENTO DE MAPAS Y PLANOS DESDE .DWG A .SHP..... | 25 |
| 5.4 FASE DE RECONOCIMIENTO EN CAMPO PUNTOS CLAVE RECOMENDADOS POR EL DIRECTOR DE PROYECTO..... | 27 |
| 5.5 FASE DE GENERACIÓN DE MAPAS, CORTES GEOLÓGICOS Y MEMORIAS GEOLÓGICAS PRELIMINARES DE LOS TÍTULOS MINEROS..... | 28 |
| 5.6 FASE DE ELABORACIÓN DEL INFORME FINAL Y SUSTENTACIÓN DEL PROYECTO..... | 34 |
| 6. CONTEXTO GEOLÓGICO | 36 |
| 6.1 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL | 36 |
| 6.2 CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL | 37 |
| 6.2.1 Formación Lidita Superior (K2l):..... | 38 |
| 6.2.2 Formación Plaeners (K2p): | 39 |
| 6.2.3 Formación Labor – Tierna (K2t): | 41 |
| 6.2.4 Formación Guaduas (K2E1g): | 43 |
| 6.2.5 Formación Cacho (E1c): | 50 |
| 6.2.6 Formación Bogotá (E1b):..... | 50 |

| | |
|---|----|
| 6.2.7 Depósitos Cuaternarios | 51 |
| 6.3 GEOLOGÍA DE LOS MANTOS CARBONÍFEROS DE CARBÓN. | 54 |
| 5.3.1. GUADUAS INFERIOR | 55 |
| 5.3.2. GUADUAS MEDIO | 57 |
| 5.3.3. GUADUAS SUPERIOR..... | 58 |
| 7. RESULTADOS | 58 |
| 7.1 GEOLOGÍA DEL TÍTULO MINERO 7240 | 59 |
| 7.2 GEOLOGÍA DEL TÍTULO MINERO 7241 | 65 |
| 7.3 GEOLOGÍA DEL TÍTULO MINERO 7238..... | 74 |
| 7.4 GEOLOGÍA DEL TÍTULO MINERO 7239..... | 82 |
| 7.5 GEOLOGÍA DEL TÍTULO MINERO 7615..... | 91 |
| CONCLUSIONES | 95 |
| RECOMENDACIONES..... | 97 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 98 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|--|------|
| Tabla 1 , tabla de fuentes utilizadas para el desarrollo del proyecto. Fuente: autor. | 23 |
| Tabla 2 , división por Conjuntos de los mantos de carbón presentes en la Formación Guaduas para la zona de estudio. Fuente: Departamento técnico Cooprocabon – autor. | 55 |

LISTA DE FIGURAS

Pág.

| | |
|--|----|
| FIGURA 1 , localización de los títulos mineros de Cooprocabon. Fuente: Google earth – autor. | 18 |
| FIGURA 2 , organización de la geología por título. Fuente: autor. | 24 |
| FIGURA 3 , entorno ArcGis, comando agregar datos (add data), entorno ArcGis. Fuente: autor. | 25 |
| FIGURA 4 , comando "seleccionar por atributos de ArcGis, entorno ArcGis. Fuente: autor. | 26 |
| FIGURA 5 , comando crear capa de los elementos seleccionados, entorno ArcGis. Fuente: autor. | 26 |
| FIGURA 6 , mapa preliminar para revisiones en campo. Fuente: Sas Planet, Google earth y autor. | 27 |
| FIGURA 7 , vista satelital de los contratos sobre un DEM de 12m/pixel donde los puntos verdes indican las estaciones de campo, entorno ArcGis. Fuente: autor. | 28 |
| FIGURA 8 , trazas de fallas rojas y negras según PTO y departamento técnico de Cooprocabon (2008), y trazas de fallas verdes propuestas por el SGC (2013). Entorno ArcGis. Fuente: autor. | 29 |
| FIGURA 9 , ajuste de fallas y pliegues con labores mineras. Entorno ArcGis. Fuente: autor. | 30 |
| FIGURA 10 , vista superficial de ejes de pliegues y trazas de fallas que en superficie no siempre se manifiestan o se encuentran cubiertos, entorno ArcGis. Fuente: autor. | 30 |
| FIGURA 11 , estructura tectónica final para la zona de estudio, entorno ArcGis. Fuente: autor. | 31 |
| FIGURA 12 , corrección y actualización de vías y caminos a partir de imagen satelital georreferenciada obtenida de Sas Planet, entorno ArcGis. Fuente: Google earth (modificado). | 32 |
| FIGURA 13 , mapa geológico general de los títulos mineros de Cooprocabon. Fuente: autor. | 32 |
| FIGURA 14 , cortes geológicos para la zona de estudio. Fuente: autor. | 33 |
| FIGURA 15 , mapa geológico general con cortes geológicos más representativos para la zona de estudio. Fuente: autor. | 34 |
| FIGURA 16 , bloque diagramas geológicos para la zona de estudio. Fuente: autor. | 34 |
| FIGURA 17 , cartografía geológica a escala 1:100.000 según Planchas 190 y 209. Fuente: SGC (modificado). | 37 |
| FIGURA 18 , afloramiento de la Formación Lidita Superior (K2l) en la vereda Ruchical Contrato 7239. Fuente: autor. | 39 |
| FIGURA 19 , afloramiento de la Formación Plaeners (K2p) bajo la Formación Labor - Tierna (K2t) en cercanías a la falla El Ancón Contrato 7239. Fuente: autor. | 40 |
| FIGURA 20 , afloramientos de la Formación Plaeners en cercanías a la Formación Lidita Superior en el Contrato 7239. Fuente: autor. | 40 |

| | |
|---|----|
| FIGURA 21 , contacto neto entre las Formaciones Labor - Tierna (K2t) y Guaduas (K2E1g) en el Contrato 7240. Fuente: autor..... | 42 |
| FIGURA 22 , contacto entre las Formaciones Labor - Tierna (K2t) y Guaduas (K2E1g) cubierto por depósitos Cuaternarios fluvio glaciales (Qfg) en el Contrato 7241. Fuente: autor. | 42 |
| FIGURA 23 , contacto entre las Formaciones Labor - Tierna (K2t) y Guaduas Conjunto Inferior (K2E1g1) en cercanías a El Horizonte Contrato 7239. Fuente: autor. | 43 |
| FIGURA 24 , manto de carbón con intercalaciones donde inicia la zona productiva del Conjunto Guaduas Inferior en la Vía Cipri – Campamento Contrato 7241. Fuente: autor..... | 45 |
| FIGURA 25 , pliegue sinclinal la Arenisca Guía en la vía La Banda – La Fábrica. Fuente: autor. | 46 |
| FIGURA 26 , deposito cuaternario cubriendo la Arenisca Guía en el Contrato 7238. Fuente: autor. | 46 |
| FIGURA 27 , nivel arenoso similar a la Arenisca La Guía en el Contrato 7241. Fuente: autor. | 47 |
| FIGURA 28 , afloramiento de la Arenisca La Lajosa en el Contrato 7241. Fuente: autor . | 48 |
| FIGURA 29 , afloramiento Arenisca La Lajosa en parte alta de explotación Peña negra Contrato 7238. Fuente: autor. | 48 |
| FIGURA 30 , contacto neto entre las Formaciones Cacho (E1c) y Guaduas (K2E1g) en el Contrato 7240. Fuente: autor. | 49 |
| FIGURA 31 , morfología del Conjunto Guaduas Superior y su contacto con la Formación Cacho marcado por el fuerte cambio de pendiente en el Contrato 7238. Fuente: autor. . | 49 |
| FIGURA 32 , morfología del Conjunto Guaduas Superior (K2E1g3) y su contacto con la Formación Cacho (E1c) en el Contrato 7615. Fuente: autor. | 50 |
| FIGURA 33 , contactos entre las Formaciones presentes para la zona de estudio en el Contrato 7240. Fuente: autor. | 51 |
| FIGURA 34 , características generales de un deposito Cuaternario fluvio glacial. Fuente: autor. | 53 |
| FIGURA 35 , mapa geológico a escala 1:10.000 propuesto por el SGC (2013) para la zona de estudio. Fuente: SICAT | 54 |
| FIGURA 36 , Mapa geológico del Contrato 7240. La FIGURA azul encierra el "Alto de la Cruz". Fuente: autor..... | 60 |
| FIGURA 37 , plegamientos en rocas sedimentarias del Conjunto Guaduas Medio (K2E1g2). Fuente: autor..... | 61 |
| FIGURA 38 , deformaciones y discontinuidades en los mantos de carbón por acción de fuerzas compresivas. Fuente: autor. | 61 |
| FIGURA 39 , imagen satelital con el Contrato 7240 (magenta), fallas geológicas (rojo) y límites estratigráficos (blanco). Fuente: Google earth - Autor..... | 62 |
| FIGURA 40 , panorámica de algunas fallas presentes en la zona de estudio. Fuente: autor. | 65 |

| | |
|---|----|
| FIGURA 41 , bloque diagrama geológico de la zona en estudio. En color magenta los límites del contrato; en rojo paralelo al rumbo los ejes de plegamiento; y atravesando las Formaciones también en rojo las fallas geológicas. Fuente: autor. | 65 |
| FIGURA 42 , pliegue anticlinal. Fuente: autor. | 66 |
| FIGURA 43 , mapa geológico del Título minero 7241 a escala 1:10.000. Fuente: autor. . | 67 |
| FIGURA 44 , pequeña falla normal encontrada en el camino Cipri - Campamento militar. Fuente: autor. | 68 |
| FIGURA 45 , parte baja de la base militar la cual coincide con una depresión estructural del Grupo Guadalupe. Fuente: autor. | 68 |
| FIGURA 46 , imagen satelital de la falla Campamento donde se observa la repetición de la Formación Labor – Tierna (K2t). Fuente: autor. | 69 |
| FIGURA 47 , pequeños pliegues cercanos al Sinclinal Carboinsa. Fuente: autor. | 70 |
| FIGURA 48 , inicios del Sinclinal - Anticlinal Carboinsa. Fuente: autor. | 70 |
| FIGURA 49 , imagen satelital con el Contrato 7241 (naranja), fallas geológicas (rojo) y límites estratigráficos (blanco). Fuente Google earth. Fuente: Google earth - Autor. | 71 |
| FIGURA 50 , parte oriental de la base militar donde se a la falla Piedra Gorda se unen la falla El Mineral y la falla Sabaneta. Fuente: Google earth - Autor. | 74 |
| FIGURA 51 , bloque diagrama geológico de la zona en estudio. En color magenta los límites del contrato; en rojo paralelo al rumbo los ejes de plegamiento; y atravesando las Formaciones también en rojo las fallas geológicas. Fuente: autor. | 74 |
| FIGURA 52 , panorámica del proyecto Carboinsa que inicialmente consiste en un sinclinal con núcleo K2E1g1; posteriormente es un anticlinal con núcleo Grupo Guadalupe. Fuente: autor. | 75 |
| FIGURA 53 , mapa geológico del Contrato 7238. Fuente: autor. | 76 |
| FIGURA 54 , vista de la zona de estudio desde la parte superior. Fuente: autor. | 77 |
| FIGURA 55 , imagen satelital con el Contrato 7238 (verde), fallas geológicas (rojo) y límites estratigráficos (blanco). Fuente Google earth. Fuente: Google earth - Autor. | 77 |
| FIGURA 56 , manifestaciones superficiales de la falla Piedra Gorda cerca al cruce Carboinsa - Los Robles. Fuente: autor. | 78 |
| FIGURA 57 , vista superficial de la falla Villa Catalina en la carretera que de carboneras Peña Negra conduce al proyecto Carboinsa. Fuente: autor. | 81 |
| FIGURA 58 , deposito fluvio glacial posiblemente solevado por la falla Villa Catalina. Fuente: autor. | 81 |
| FIGURA 59 , bloque diagrama geológico de la zona en estudio. En color magenta los límites del contrato; en rojo paralelo al rumbo los ejes de plegamiento; y atravesando las Formaciones también en rojo las fallas geológicas. Fuente: autor. | 82 |
| FIGURA 60 , panorámica del cierre Sinclinal Checua - Lenguazaque visto desde la vereda Ruchical. Fuente: autor. | 83 |
| FIGURA 61 , mapa geológico del Contrato 7239. Fuente: autor. | 84 |
| FIGURA 62 , pliegue sinclinal apretado en la Formación Labor - Tierna (K2t) y que afecta parte del Conjunto Guaduas Inferior (K2E1g1) en el Cerro San Roque. Fuente: autor. .. | 85 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 63 , sinclinal del Cerro San Roque bajo el cual aflora el Grupo Guadalupe completo (K2t, K2p y K2l). Fuente: autor..... | 86 |
| FIGURA 64 , imagen satelital con el Contrato 7239 (verde), fallas geológicas (rojo) y límites estratigráficos (blanco). Fuente: Google earth. Fuente: Google earth - Autor. | 87 |
| FIGURA 65 , vista del área de explotación sureste a la falla El Zorrillo. Fuente: autor. | 89 |
| FIGURA 66 , estrías de falla encontradas en bloques de la Formación Labor - Tierna por acción de la falla El Ancón. Fuente: autor. | 90 |
| FIGURA 67 , esfuerzos compresivos respecto a la falla El Pedregal reflejados en los pliegues del Conjunto Guaduas Inferior (comportamiento plástico) bajo el nivel Arenisca La Guía (comportamiento más rígido). Fuente: autor. | 90 |
| FIGURA 68 , bloque diagrama geológico de la zona en estudio. En color magenta los límites del contrato; en rojo paralelo al rumbo y en blanco los ejes de plegamiento (excepto la falla El Ancón); y atravesando las Formaciones también en rojo las fallas geológicas. Fuente: autor..... | 91 |
| FIGURA 69 , panorámica del cierre Sinclinal Checua - Lenguazaque visto desde la vereda Ruchical. Fuente: autor. | 92 |
| FIGURA 70 , imagen satelital con el Contrato 7239 (verde), fallas geológicas (rojo), pliegues (morado) y límites estratigráficos (blanco). Fuente: Google earth - Autor..... | 93 |
| FIGURA 71 , mapa geológico para la zona de estudio. Mapa completo en anexos. Fuente: autor. | 93 |
| FIGURA 72 , bloque diagrama geológico de la zona en estudio. En color magenta los límites del contrato; en rojo paralelo al rumbo y en blanco los ejes de plegamiento (excepto la falla El Ancón); y atravesando las Formaciones también en rojo las fallas geológicas. Fuente: autor..... | 94 |

GLOSARIO

COMPORTAMIENTO RÍGIDO (O FRÁGIL): es el comportamiento con que se califican materiales que llegan a deformarse un poco pero al superarse un esfuerzo límite se rompen generando desplazamientos respecto al estado inicial. Este es el comportamiento característico de rocas muy resistentes como lo son las cuarzoarenitas.

COMPORTAMIENTO PLÁSTICO (O DÚCTIL): se refiere a materiales que pueden deformarse sin romperse, pero no recuperan su forma original una vez cesan los esfuerzos. Este es el comportamiento preferencial de las rocas limo arcillosas.

CONTRATO DE CONCESIÓN: era el nombre dado a lo que actualmente (según decreto 1886 de 2015) se conoce como el Título Minero. Es el contrato que celebran el Estado y un particular para efectuar, por cuenta y riesgo de este último, los estudios, trabajos y obras de exploración de minerales de propiedad estatal que puedan encontrarse dentro de una zona determinada. Dichos minerales se explotan en los términos y condiciones establecidos en la ley (Código de Minas).

FALLAS TRANSVERSALES: hace referencia a fallas geológicas de desplazamientos laterales (horizontales) que atraviesan las estructuras geológicas existentes de forma transversal a su rumbo.

TRAVERSA GEOLÓGICA: una travesa geológica consiste en un recorrido de reconocimiento geológico el cual se desarrolla de manera perpendicular al rumbo preferencial de las estructuras geológicas existentes.

RESUMEN

Los títulos mineros 7238, 7239, 7240, 7241 y 7615 pertenecientes a Cooprocabon se localizan entre los municipios de Ráquira y Samacá (Boyacá). Tienen una extensión total de $32,781 Km^2$. En estos contratos se explotan mantos de carbón llamados en la región bajos y medios volátiles.

Geológicamente se caracterizan por presentar rocas del Cretácico Superior representadas por el Grupo Guadalupe y rocas del Terciario Inferior pertenecientes a las Formaciones Guaduas (portadora del carbón), Cacho y Bogotá, también son frecuentes los depósitos cuaternarios de tipo fluvioglacial.

Estructuralmente la zona de estudio se ubica en el flanco noroeste del Sinclinal de Checua – Lenguazaque. Inicialmente en la frontera con Guachetá donde inician los Contratos se mantiene la estructura preferencial proveniente de Cundinamarca que consiste en capas monoclinales buzantes al SE; posteriormente y a lo largo de toda la zona de estudio se presentan gran cantidad de pliegues en sedimentos plásticos de la Formación Guaduas, fallas transversales, inversas y algunas normales; entre otros rasgos geológicos que representan una tectónica de tipo generalmente compresivo. Finalmente los contratos terminan en la zona de cierre del Sinclinal donde se encuentran algunas fallas inversas de tipo local y más de una decena de pliegues anticlinales y sinclinales simétricos muchas veces paralelos.

Los fenómenos anteriormente descritos en trabajos superficiales de geología no pueden ser identificados ya sea por la presencia de depósitos cuaternarios o por la carencia de comportamiento rígido en las rocas sedimentarias de la Formación Guaduas, razón por la cual enriquecer la cartografía geológica con información obtenida de labores mineras permite un mayor acercamiento a la realidad geológica del subsuelo.

PALABRAS CLAVE: carbón, comportamiento plástico, Cooprocabon, Formación Guaduas, Ráquira, Samacá, Sinclinal de Checua – Lenguazaque, tectónica compresional.

ABSTRAC

The Mining Titles 7238, 7239, 7240, 7241 and 7615 belonging to Cooprocabon are located between the municipalities of Ráquira and Samacá (Boyacá). Those have a total extension of $32,781 Km^2$. In those titles exploit coal beds called in the region volatile low and medium.

Geologically the Titles are characterized by Upper Cretaceous rocks represented by the Guadalupe Group and Lower Tertiary rocks belonging to the Guaduas, Cacho and Bogotá Formations, Quaternary deposits of fluviglacial type are also frequent.

Structurally the study area is located in the northwest limb of the Checua – Lenguazaque Syncline. Initially in the border with Guachetá where the Contracts begin, the preferential structure is maintained from Cundinamarca, which consists in monoclinic layers dipping to southeast; later and throughout the study area, a large number of folds are present in plastic sediments of the Guaduas Formation, transverse, reverse and some normal faults; Among other geological features that represent a tectonic of generally compressive type. Finally, the contracts end in the Syncline closing zone where there are some local-type reverse faults and More than ten parallel symmetrical anticlines and synclines folds.

The geological phenomena previously described in superficial geological studies can not be identified either by the presence of quaternary deposits or by the lack of rigid behavior in the Guaduas Formation sedimentary rocks, for which to enrich the geological mapping with information obtained from mining works allows a closer approach to the geological reality of the subsoil.

KEYWORDS: coal, plastic behavior, Cooprocabon, Guaduas Formation, Ráquira, Samacá, Checua – Lenguazaque Syncline, compressional tectonic.

1. INTRODUCCIÓN

El cierre del Sinclinal de Checua – Lenguaque es un sitio con gran interés Geológico - Minero pues se presentan más de diez mantos de carbón de excelente continuidad y con características físico químicas excepcionales para la producción de coque metalúrgico. Ya en el ámbito geológico la zona tectónicamente es de carácter compresivo presentando gran cantidad de fallas transversales de tipo sinistral y dextral, fallas inversas y unas pocas normales; plegamientos y deformaciones en rocas de carácter plástico, entre otros escenarios geológicos lo que convierten la región en un gran desafío para la interpretación geológico estructural indispensable para el desarrollo minero.

El presente informe tiene la finalidad de dar a conocer los resultados obtenidos en el proceso de actualización de la cartografía geológica apoyada en los avances de labores mineras de los cinco Títulos Mineros pertenecientes a Cooprocabon y que se ubican en el flanco noroccidental del Sinclinal, desde los límites con el municipio de Guachetá, pasando por Ráquira hasta el municipio de Samacá donde se presenta el cierre de la estructura.

Todas las actividades desarrolladas en este proceso de actualización cartográfica junto con las consideraciones bibliográficas y las propias del autor se incluyen en el presente documento con el fin de ayudar a entender los resultados obtenidos. Gracias a lo anterior se habrá logrado sustentar una información geológica que cuenta con alto grado de certeza por estar fundamentada en datos verídicos como son los obtenidos del subsuelo conforme avanzaron las labores mineras. Este informe cuenta con descripciones de la mayoría de zonas de fallas, factor que permitirá mejorar los resultados en el proceso de recuperación de mantos de carbón en zonas de discontinuidad.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Mejorar la cartografía geológica de los títulos mineros 7238, 7239, 7240, 7241 Y 7615 a escala 1:10.000 trabajando en el software ArcGis considerando los rasgos geológicos identificados en las explotaciones mineras.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una investigación de la información bibliográfica existente para la zona de estudio.
- Agrupar por título minero la información necesaria para crear la nueva cartografía geológica.
- Convertir y procesar mapas y planos desde .DWG a .SHP.
- Reconocer en campo puntos clave recomendados por el director de proyecto.
- Generar mapas, cortes geológicos y una memoria geológica preliminar de los títulos mineros.
- Elaborar el informe final y sustentar el proyecto.

3 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA

La Cooperativa Boyacense de Productores de Carbón De Samacá Cooprocabon, es una empresa sin ánimo de lucro formada hace cincuenta y cinco años gracias a la asociación de varios mineros de la zona. La cooperativa toma fuerza cuando en el año 1976 se opuso al aporte por parte del Estado hacia la empresa Acerías Paz del Rio de los yacimientos de carbón de la zona de Ráquira y Samacá. Luego de esto el consejo de Estado determino que los yacimientos de carbón de dicha área pertenecían a los asociados de Cooprocabon otorgándole los títulos mineros o contratos de concesión 7238, 7239, 7240, 7241 y 7615 mostrados en la **FIGURA 1** para un área total de 32,781 kilómetros cuadrados.

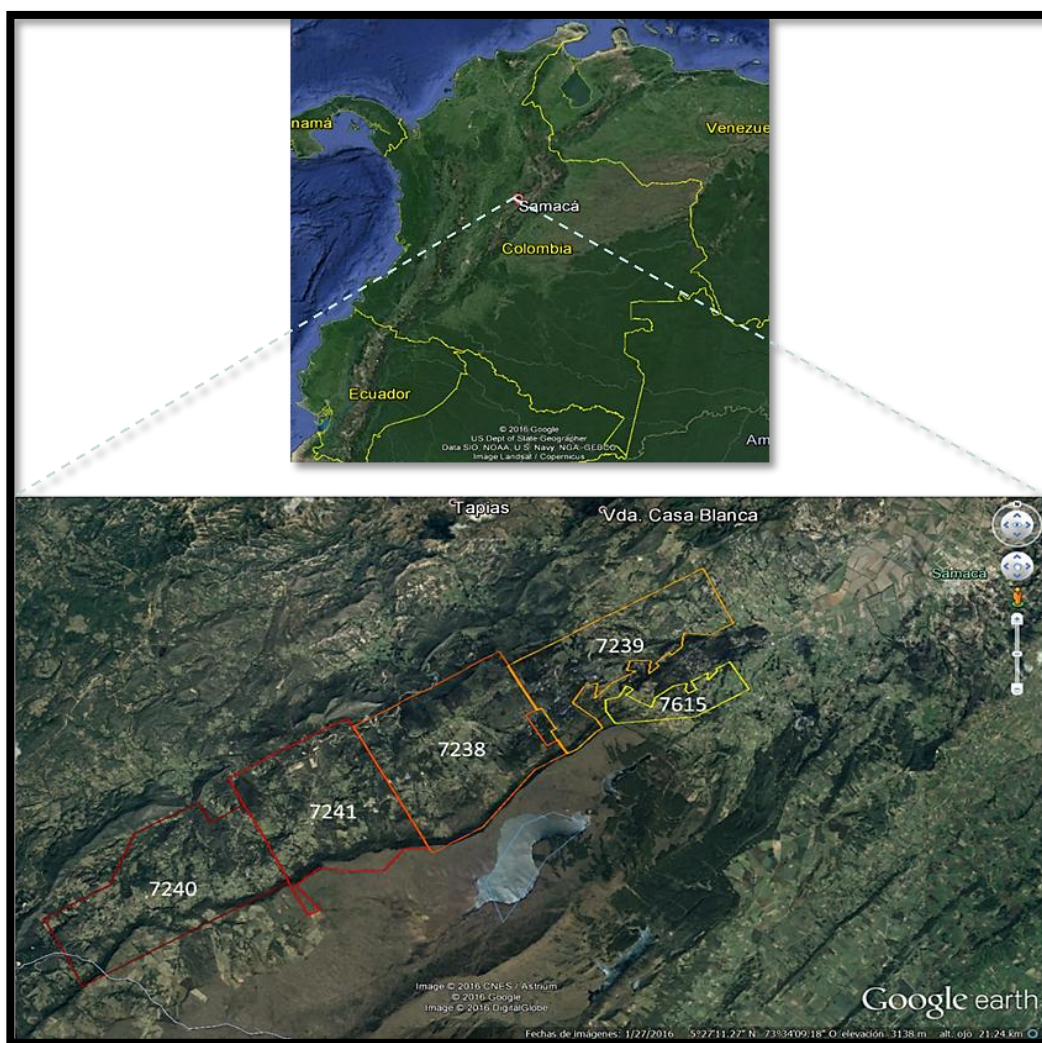


FIGURA 1, localización de los títulos mineros de Cooprocabon. **Fuente:** Google earth – autor.

Las oficinas de la empresa se localizan en el municipio de Samacá (Boyacá), en la dirección calle 5 # 5-38. Las explotaciones mineras se desarrollan en las veredas Loma Redonda y Chorrera de Samacá, y Firita Peña Arriba de Ráquira.

Básicamente la cooperativa cuenta con un departamento técnico compuesto por 30 profesionales (Ingenieros de minas, ambientales, técnicos, topógrafos, entre otros) los cuales brindan acompañamiento, asesoría y control a las más de 100 minas de carbón presentes en los títulos mineros que son propiedad de los asociados. El total de trabajadores de la cooperativa es un promedio de dos mil personas.

3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el año 2008 el departamento técnico de Cooprocarron desarrolló actividades correspondientes a la actualización de los Planes de Trabajos y Obras entre las cuales se realizó la creación de cartografía geológica a escala 1:10.000.

Las explotaciones mineras han permitido la verificación de la información geológica propuesta y la identificación de nuevos rasgos. Continuamente por parte del departamento técnico se desarrolla medición y mapeo de las labores mineras y fenómenos geológicos encontrados como fallamientos, pinchamientos, pliegues, entre otros.

La Cooperativa cuenta con información correspondiente a geología y labores mineras trabajada en el software AutoCAD. Dicha información se encuentra desorganizada y al estar dividida por contrato muchas veces no coincide para las zonas en común. Se considera necesario reorganizarla en el software ArcGis (obteniéndose una mejor interpretación geológica), además se presumen algunos desfases en georreferenciación los cuales pueden ser ajustados con ayuda de nuevas tecnologías como modelos de elevación digital, imágenes digitales satelitales entre otros con la finalidad de obtener mapas de los cinco títulos mineros con su información geológica actualizada, cortes geológicos y una memoria geológica preliminar de la información recopilada.

3.2 JUSTIFICACIÓN

En un yacimiento de cualquier recurso mineral los fenómenos geológicos como fallas, pliegues, pinchamientos entre otros implican pérdidas o ganancias económicas para quien invierta o se beneficie de la explotación del mismo. Si lo anterior se relaciona con la realidad puede decirse que cualquier asociado de la

Cooperativa puede tener millonarias pérdidas económicas si decide explorar una zona de falla con el fin de recuperar el manto de carbón que explota y no cuenta con suficiente información del comportamiento de la falla, o puede abandonar un buen proyecto por no contar con información suficiente que describa la situación geológica del mismo.

La actualización de la cartografía geológica permitirá asociar comportamientos de fallas y pliegues para seccionar en bloques geológicos, lo que se traduce en un gran paso a la solución de los problemas descritos anteriormente.

4. RECURSOS

4.1 RECURSOS HUMANOS

Autor: Jorge Luis Patiño Duran, estudiante en terminación académica del programa de Ingeniería Geológica.

Director: PhD. Jorge Eliecer Mariño Martínez
Doctorado en Geología
Docente UPTC.

Codirector: Ing. Oscar Barrera
Ingeniero de Minas
Ingeniero departamento técnico Cooprocabón.

Asesores: Ing. Carlos Sierra
Ingeniero en Minas
Gerente Cooprocabón

Ing. Mauricio Fonseca
Ingeniero Geólogo

4.2. RECURSOS FÍSICOS

- Información suministrada por Cooprocabón.
- Documentos del SGC y otros.
- Equipos de cómputo, Software AutoCAD, Software ArcGis.
- Papelería, impresora, plotter hp 800.
- Brújula Brunton, GPS Garmin, martillo, lupa de 20x, ácido clorhídrico, escala granulométrica, regla, graduador.
- Transporte diario a la zona de estudio.

5. METODOLOGIA

Una vez haciendo parte del equipo Cooprocarron inicialmente se solicitó al departamento técnico toda la información geológica disponible la cual se fue organizando en carpetas por título minero. Después de esto se desarrolló una revisión bibliográfica de todo lo referente a la situación geológica de la zona para lo cual se consideraron los puntos de vista y conclusiones de diferentes autores y fuentes. Una vez se tuvo un conocimiento suficiente de lo estudiado en la zona se procedió a revisar los mapas geológicos de la empresa junto con la información de las labores mineras. Alternó a lo anterior se desarrollaron visitas estratégicas a la zona de estudio en compañía de algunos conocedores de rasgos geológicos importantes que pueden no ser visibles a primera impresión.

Posteriormente se plotearon dos mapas obtenidos de la unión de los cinco mapas geológicos del PTO 2008, de algunas actualizaciones y de una imagen satelital georreferenciada obtenida del software Sas Planet de uso libre. Para obtener estos planos fue necesario un trabajo preliminar de oficina enfocado en transformación de archivos desde formato .Cad a formato .Shp además de un ajuste de poco detalle en los empalme entre mapas. Posteriormente se realizó un trabajo de campo de 1 mes en el cual se hicieron traversas geológicas atravesando los cinco títulos identificando límites estratigráficos, rasgos geológicos superficiales, características de los mantos entre otros.

Las visitas a campo estuvieron apoyadas de visitas a labores y proyectos mineros lo cual permite comparar lo visto en superficie con lo que sucede internamente en las explotaciones de carbón. Luego de haber recorrido toda la zona se inició un trabajo de oficina apoyado de más revisión bibliográfica, comparaciones entre cartografías, superposición de imágenes y planos, entre otros, buscando siempre que la cartografía final fuese lo más acertada posible. Finalmente se produjeron para cada Título 2 cortes geológicos, 1 bloque diagrama, 1 mapa geológico; además 1 mapa geológico general con rotulo reducido y un mapa general con diseño según el SGC. Se creó el presente documento explicativo de los rasgos geológicos encontrados que en su mayoría fueron nombrados según las minas cercanas. Al finalizar con el desarrollo del proyecto se hicieron unas aplicaciones de la cartografía obtenida en el asesoramiento de explotación en nuevos bloques carboníferos, asesoramiento en zonas de fallamiento y plegamiento.

A continuación se da una explicación detallada de la metodología seguida.

5.1 FASE DE RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA.

Conforme el departamento técnico de Cooprocabon reunía la información necesaria para el desarrollo de este proyecto (todo lo referente a geología), con la localización de los títulos mineros se inició una búsqueda de toda la información disponible referente a la zona para lo cual se utilizaron las diferentes fuentes mostradas en la tabla 1. Toda la información cartográfica externa se fue añadiendo y georreferenciando en un archivo .map (ArcGis) con la finalidad de continuamente comparar la información que la cooperativa fuese cediendo. En esta fase también se fue ajustando la información estratigráfica correspondiente para la zona de estudio. Las fuentes marcadas con * presentaban irregularidades que dificultaron el trabajo ya sea porque tenían desfases de georreferenciación o por discontinuidad de la información en algunas zonas.

| | |
|------------------|---|
| FUENTES INTERNAS | ESTUDIO GEOLÓGICO COOPROCARBON (ACOSTA, R 1979) |
| | PLANES DE TRABAJOS Y OBRAS COOPROCARBON 2008 |
| | BASE DE DATOS CUBICACIONES DEP TECNICO |
| | MAPAS GEOLOGICOS POR CONTRATO * |
| | FOTOGRAFIAS AEREAS IGAC |
| | TOPOGRAFIA 1: 10.000 IGAC * |
| | DOCUMENTOS INFORMATIVOS GEOLOGIA, RECURSOS Y RESERVAS * |
| FUENTES EXTERNAS | ESTUDIO GMAC SAMACÁ - GUACHETÁ |
| | GEOLOGIA DE LA SABANA DE BOGOTÁ (HUBACH, E 1957) |
| | EOT SAMACÁ, EOT RÁQUIRA, EOT VENTAQUEMADA. |
| | GEOLOGIA DE LAS PLANCHAS 190, 191 Y 209. (SGC) |
| | DEM 12 METROS/PIXEL (DONACIÓN) |
| | IMAGEN SATELITAL 18 ZOOMS (SAS PLANET) |
| | GOOGLE EARTH PRO |
| CONSULTAS | PhD. JORGE MARIÑO |
| | ING. OSCAR BARRERA |
| | ING. CARLOS SIERRA |
| | DEPARTAMENTO TÉCNICO COOPROCARBON |
| | ING. MAURICIO FONSECA |

Tabla 1, tabla de fuentes utilizadas para el desarrollo del proyecto. **Fuente:** autor.

5.2 FASE DE AGRUPAMIENTO DE LA INFORMACIÓN POR TÍTULO MINERO.

Una vez el departamento técnico entregó la información disponible se creó una base de datos en la que toda esta fue agrupada por contrato (**FIGURA 2**), esto permite tener un fácil acceso a los datos que sean necesarios para determinado contrato. Además se creó una carpeta donde se incluyeron todos los documentos externos a la información de la empresa.

En la **FIGURA 2** se puede observar que por contrato se crearon dos carpetas; la primera contenía la información inicialmente cedida por la empresa (Contrato “x”) como planos geológicos del PTO 2008, información geológica de labores mineras, columna estratigráfica, reporte de geología y reservas para PTO 2008; la segunda carpeta (Geología “x” corregida) fue el destino de todos los shapefiles que se iban creando en ArcGis para el momento de conversión de formato .Dwg a formato .Shp.

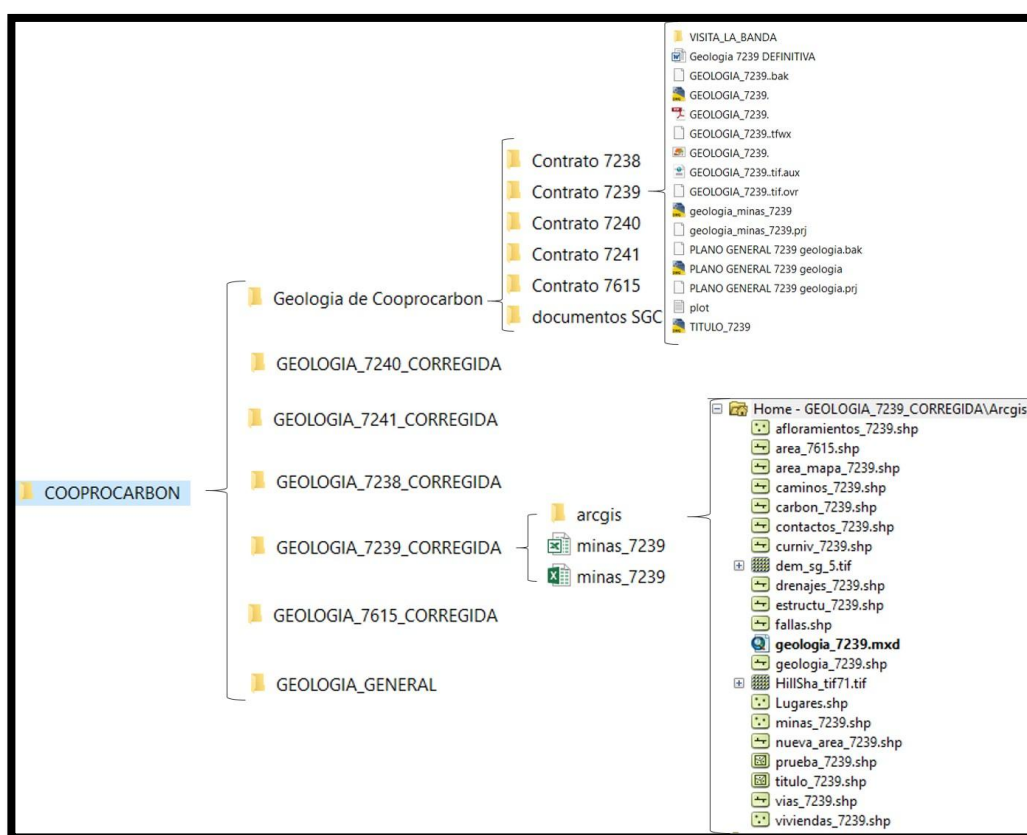


FIGURA 2, organización de la geología por título. **Fuente:** autor.

5.3 FASE DE CONVERSIÓN Y PROCESAMIENTO DE MAPAS Y PLANOS DESDE .DWG A .SHP.

Una vez organizada la información por número de contrato se creó un documento ArcGis para cada uno. Posteriormente se importaron (add data) los documentos geológicos del 2008 y los de labores mineras los cuales no necesariamente debían ser georreferenciados en el entorno ArcCatalog (**FIGURA 3**).

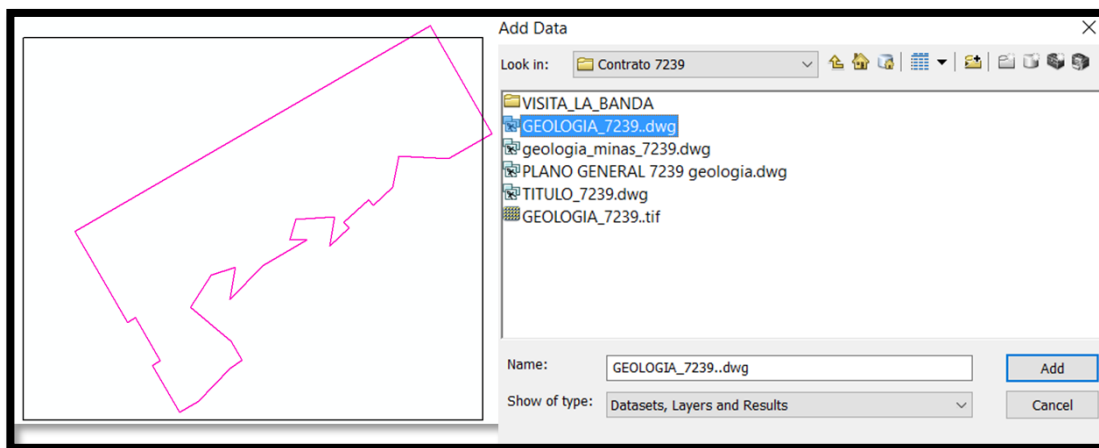


FIGURA 3, entorno ArcGis, comando agregar datos (add data), entorno ArcGis.
Fuente: autor.

Los documentos .Dwg se caracterizan por contener cinco tipos de ficheros como tipo punto; línea; polígono; texto y multipatch de los cuales se selecciona el tipo línea y se accede a la tabla de atributos. Ya en la tabla se selecciona la capa de interés (layer) con el comando seleccionar por atributos (**FIGURA 4**).

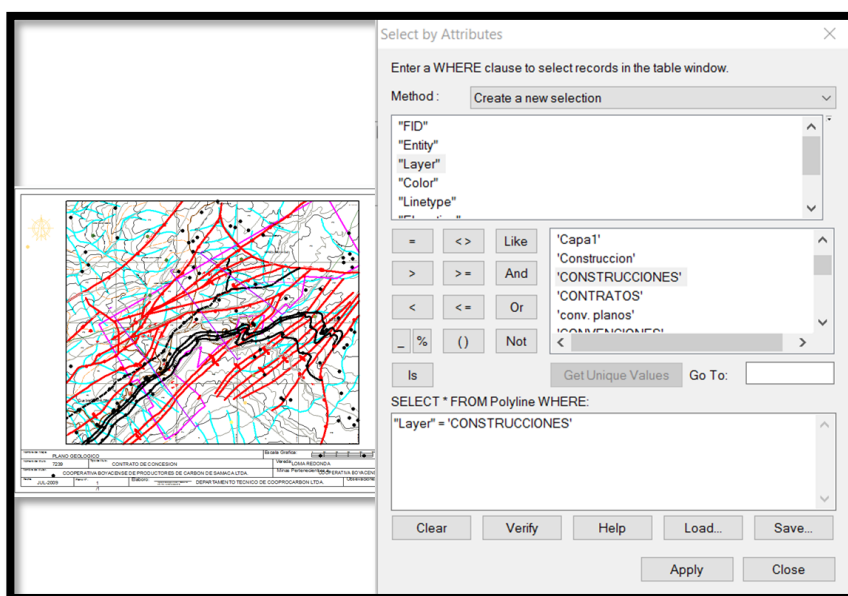


FIGURA 4, comando "seleccionar por atributos de ArcGis, entorno ArcGis.
Fuente: autor.

Luego de seleccionar la capa de interés, muy fácilmente se puede transformar esta selección en un archivo editable en ArcGis (shapefile) esto mediante el comando mostrado en la **FIGURA 5** (crear capa de los elementos seleccionados).

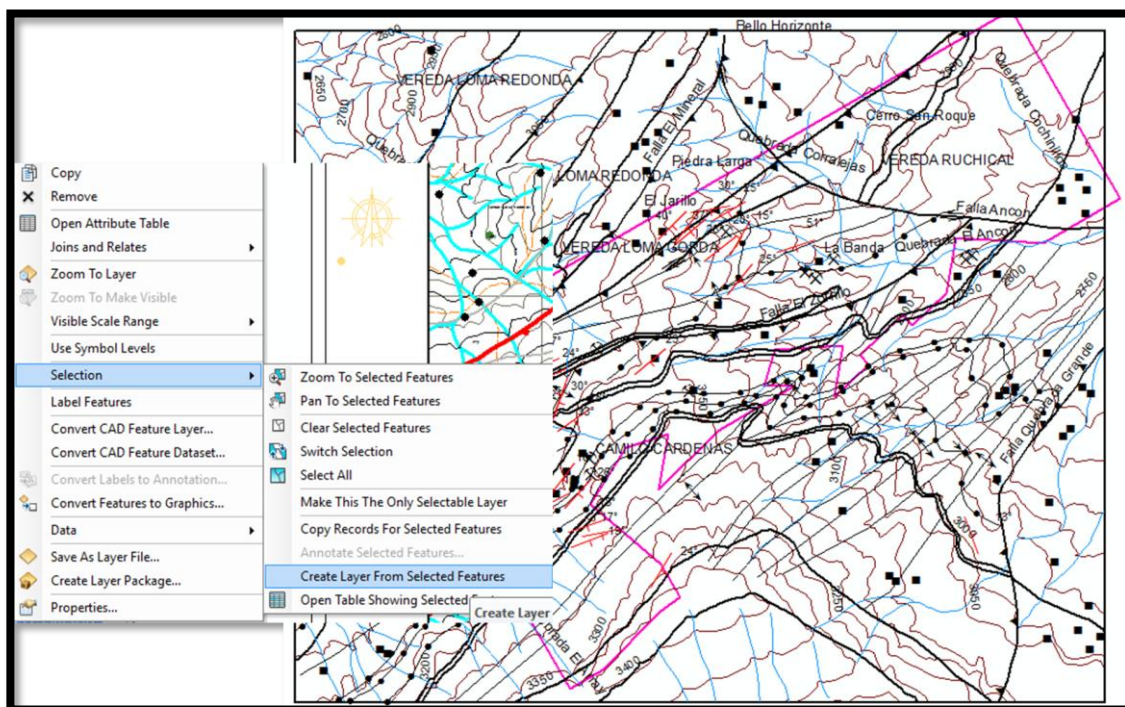


FIGURA 5, comando crear capa de los elementos seleccionados, entorno ArcGis.
Fuente: autor.

Hasta este punto se habrá convertido cada capa de origen AutoCAD en una capa trabajable en el entorno ArcGis. El anterior procedimiento se desarrolló para todas las capas que se consideraron necesarias para crear una cartografía preliminar. Además se debió cambiar la simbología pues el cambio de software AutoCAD – ArcGis no conserva simbologías.

5.4 FASE DE RECONOCIMIENTO EN CAMPO PUNTOS CLAVE
RECOMENDADOS POR EL DIRECTOR DE PROYECTO.

Una vez se transformó toda la información cartográfica a formato ArcGis junto con la información de labores mineras se creó un mapa general de la zona de estudio. Este mapa contenía todas las capas y un fondo blanco para hacer anotaciones. Igualmente se creó otro mapa con las mismas capas pero ahora con una imagen georreferenciada de la zona de estudio obtenida del software Sas Planet (**FIGURA 6**), lo último para programar las rutas a seguir.

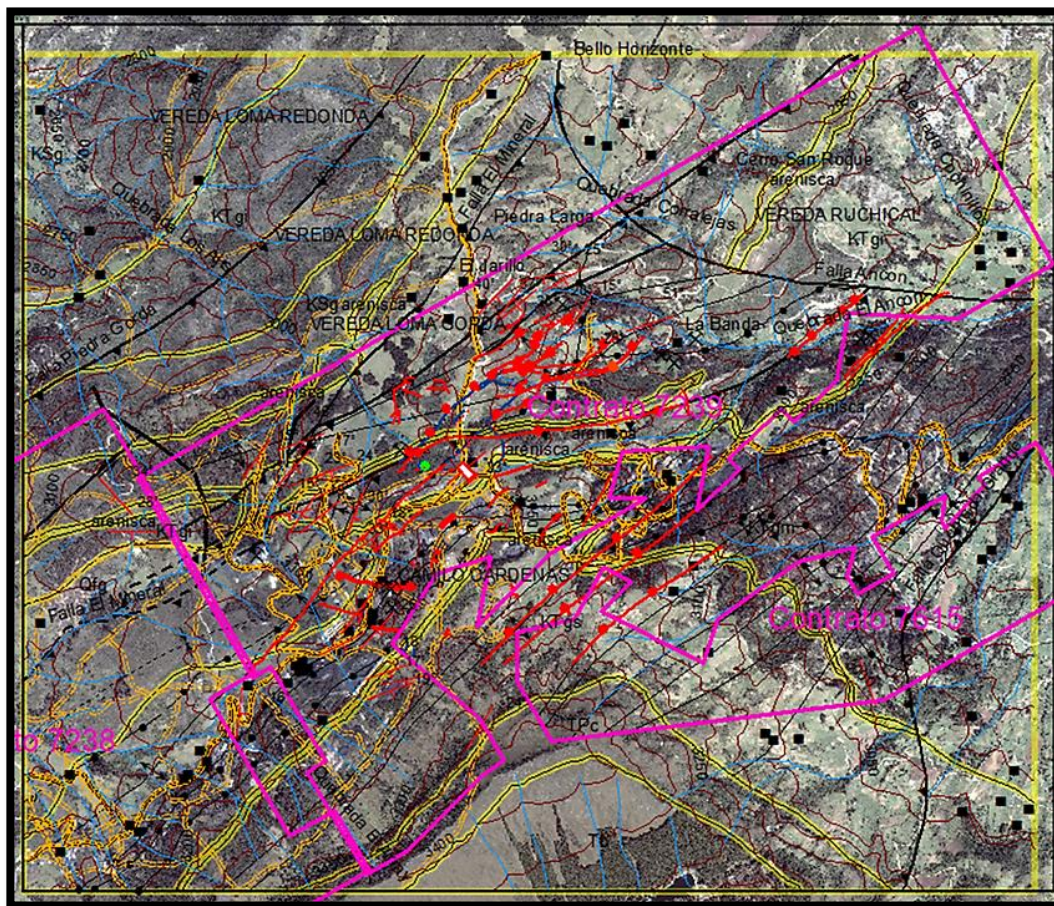


FIGURA 6, mapa preliminar para revisiones en campo. **Fuente:** Sas Planet, Google earth y autor.

Con los mapas en físico se decidió recorrer toda la zona de estudio realizando traversas geológicas (**FIGURA 7**) pues este era un procedimiento no hecho anteriormente. De esta forma se fueron reconociendo algunos rasgos geológicos y se fueron corroborando otros como la ubicación de límites estratigráficos. Este trabajo de campo duró aproximadamente un mes. Se intentó atravesar los títulos en su totalidad exceptuando zonas con restricción como las instalaciones de algunas empresas, campos de entrenamiento militar, entre otros. Estos recorridos fueron enriquecidos por algunos acompañamientos de conocedores de la zona como lo son el gerente de la cooperativa y algunos ingenieros del departamento técnico. Además se visitaron proyectos mineros en los que se adquirió un mayor entendimiento de la dinámica interna de la Formación carbonífera en esta zona de estudio.

Ya con la información obtenida en campo, con los planos de cubicación que muestran afloramientos de mantos, con interpretación fotogeológica y con los recursos nombrados en la Figura dos se dio paso a la siguiente fase.

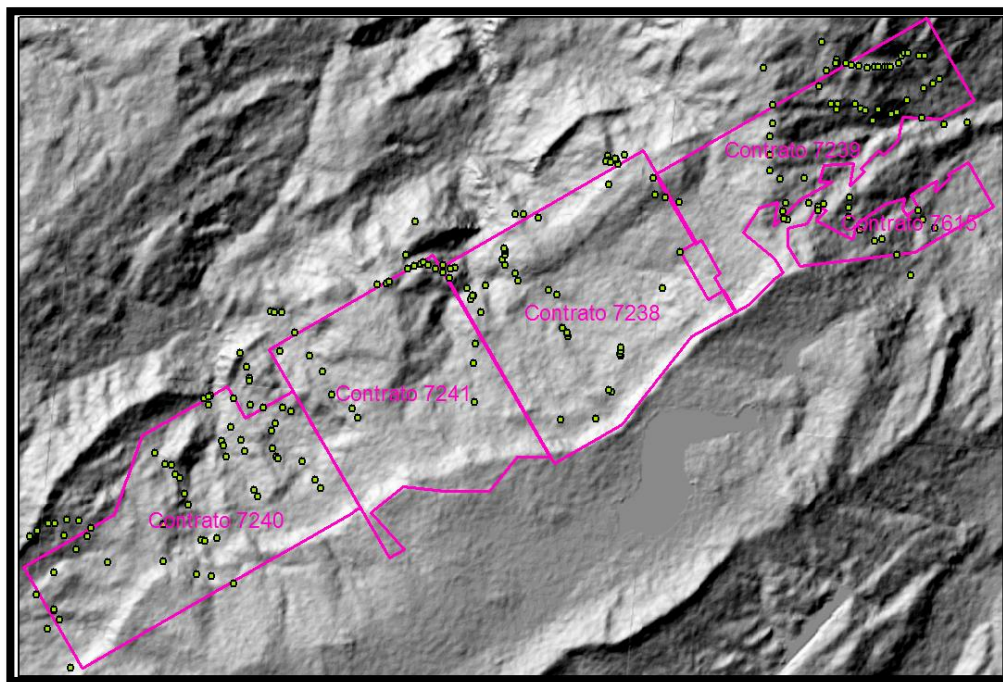


FIGURA 7, vista satelital de los contratos sobre un DEM de 12m/pixel donde los puntos verdes indican las estaciones de campo, entorno ArcGis. **Fuente:** autor.

5.5 FASE DE GENERACIÓN DE MAPAS, CORTES GEOLÓGICOS Y MEMORIAS GEOLÓGICAS PRELIMINARES DE LOS TÍTULOS MINEROS.

Obtener los mapas finales requirió de un arduo trabajo de oficina pues la información inicial contaba con muchos errores. Inicialmente no se poseía una estructura correcta de trazas de fallas o estructura tectónica como le llamó el autor. Por lo cual el primer trabajo en esta fase fue realizar un ajuste de las trazas de fallas con ayuda del modelo de elevación y además considerando las fallas propuestas por el Servicio Geológico Colombiano (**FIGURA 8**) en su estudio de gas metano asociado al carbón (GMAC) para el sector Samacá – Guachetá (SGC et al. 2013); las cuales en algunos casos se ajustaban desplazamientos de bloques vistos en las Formaciones de areniscas competentes como Labor – Tierna y Cacho.

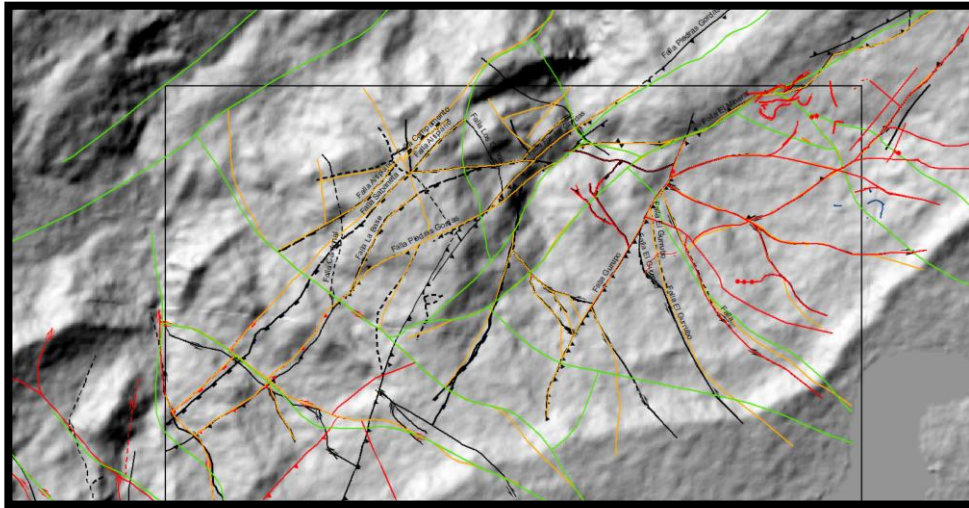


FIGURA 8, trazas de fallas rojas y negras según PTO y departamento técnico de Cooprocabon (2008), y trazas de fallas verdes propuestas por el SGC (2013). Entorno ArcGis. **Fuente:** autor.

Corregir las trazas de fallas a partir de rasgos fotogeológicos no fue suficiente pues al momento de visualizar las labores mineras en transparencia bajo las fallas se observó que muchas de estas ni siquiera existían por lo cual se hizo un nuevo ajuste llegando en ocasiones a modificar la dirección de algunas trazas que respondían a comportamientos vistos internamente, al mismo tiempo se hizo una traza preliminar de los ejes de pliegues (**FIGURA 9**) en su mayoría identificados solo con labores mineras pues como muestra la **FIGURA 10** superficialmente no eran frecuentes las manifestaciones de dichos fenómenos ya sea por depósitos cuaternarios o por meteorización de las rocas.

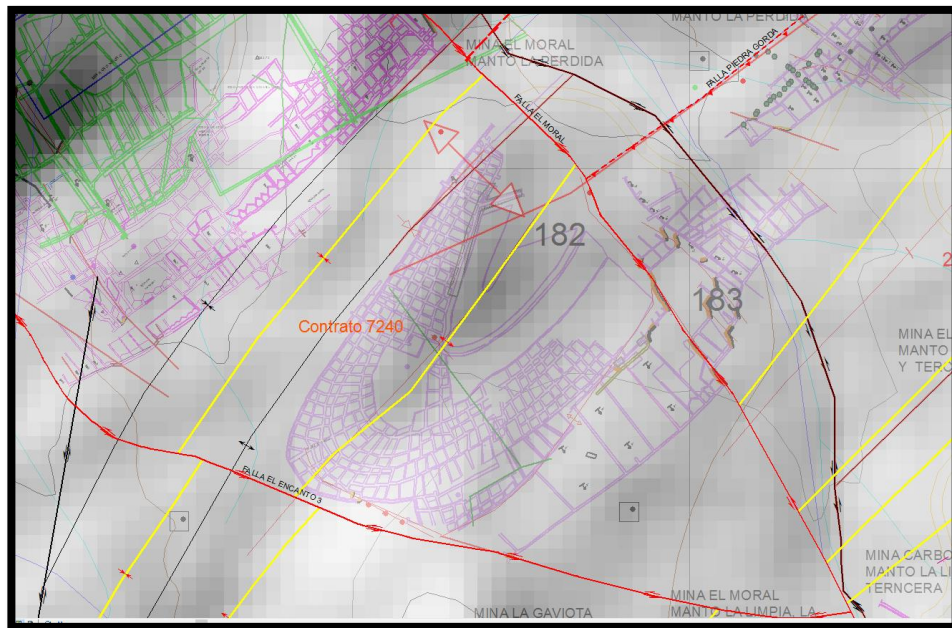


FIGURA 9, ajuste de fallas y pliegues con labores mineras. Entorno ArcGis.
Fuente: autor.

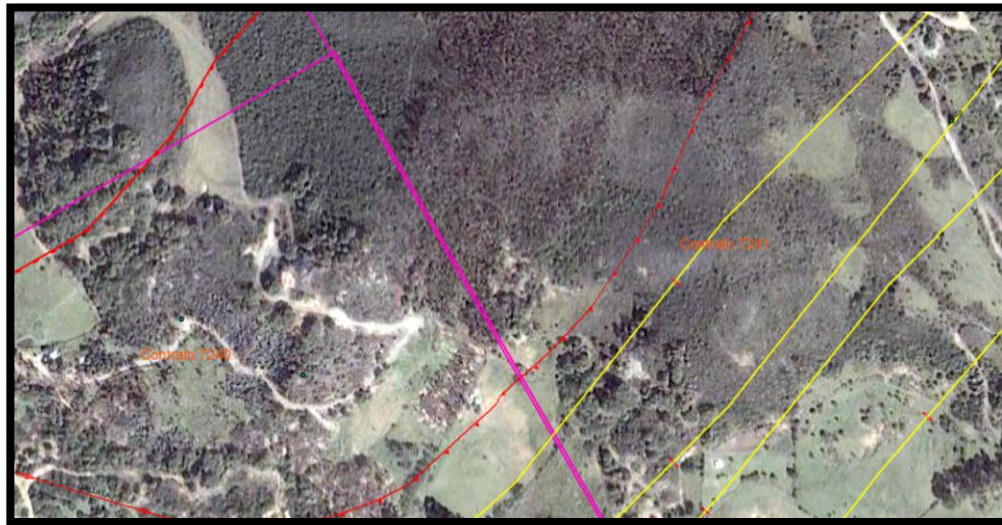


FIGURA 10, vista superficial de ejes de pliegues y trazas de fallas que en superficie no siempre se manifiestan o se encuentran cubiertos, entorno ArcGis.
Fuente: autor.

Una vez hecho un ajuste preliminar de fallas y pliegues se creó una estructura tectónica para la cual se consideró que las fallas transversales son las más recientes y por tanto las que pueden atravesar otras trazas de fallas y generar desplazamientos (**FIGURA 11**). Esta consideración además se apoya de la observación hecha a varios mapas del Servicio Geológico Colombiano.

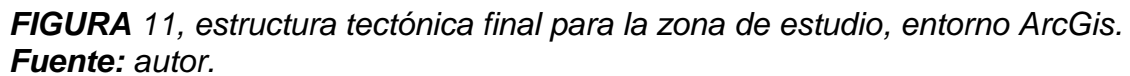




FIGURA 12, corrección y actualización de vías y caminos a partir de imagen satelital georreferenciada obtenida de Sas Planet, entorno ArcGis. **Fuente:** Google earth (modificado).

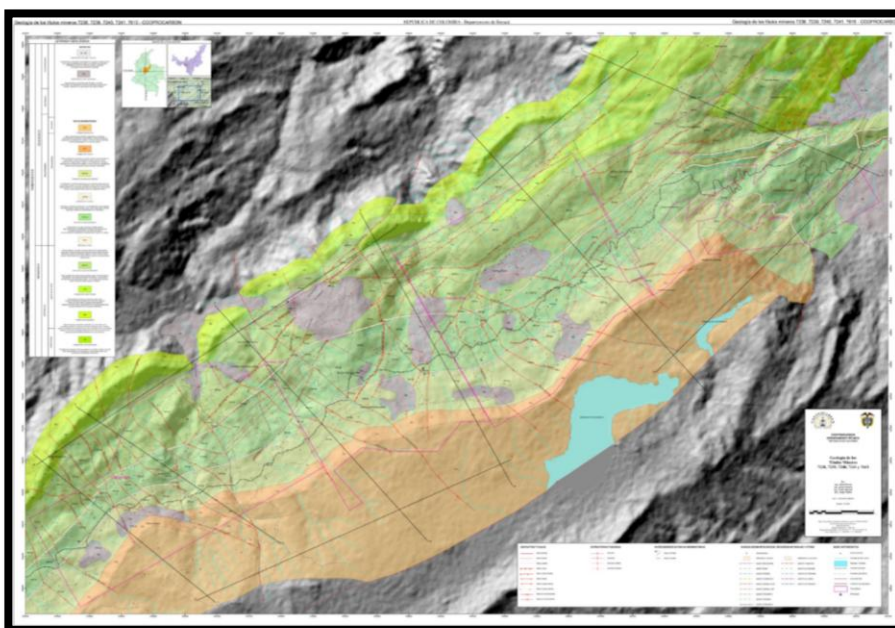


FIGURA 13, mapa geológico general de los títulos mineros de Cooprocabon. **Fuente:** autor.

A partir del mapa final y con los software ArcGis (ArcMap y ArcScene) y AutoCAD Map 3D se crearon cortes geológicos de las zonas más representativas (**FIGURA 14**) para los cuales se usaron los espesores mostrados en la sección de geología y en cuanto al direccionamiento y movimiento de bloques se consideró el diseño de

cortes geológicos hechos por el SGC (2013) para la zona de estudio. Estos cortes poseen una representación de los pliegues internos (color negro o gris) y sus desplazamientos por fallas que no corresponden a la traza de mantos, pues esta deberá actualizarse en próximos trabajos.

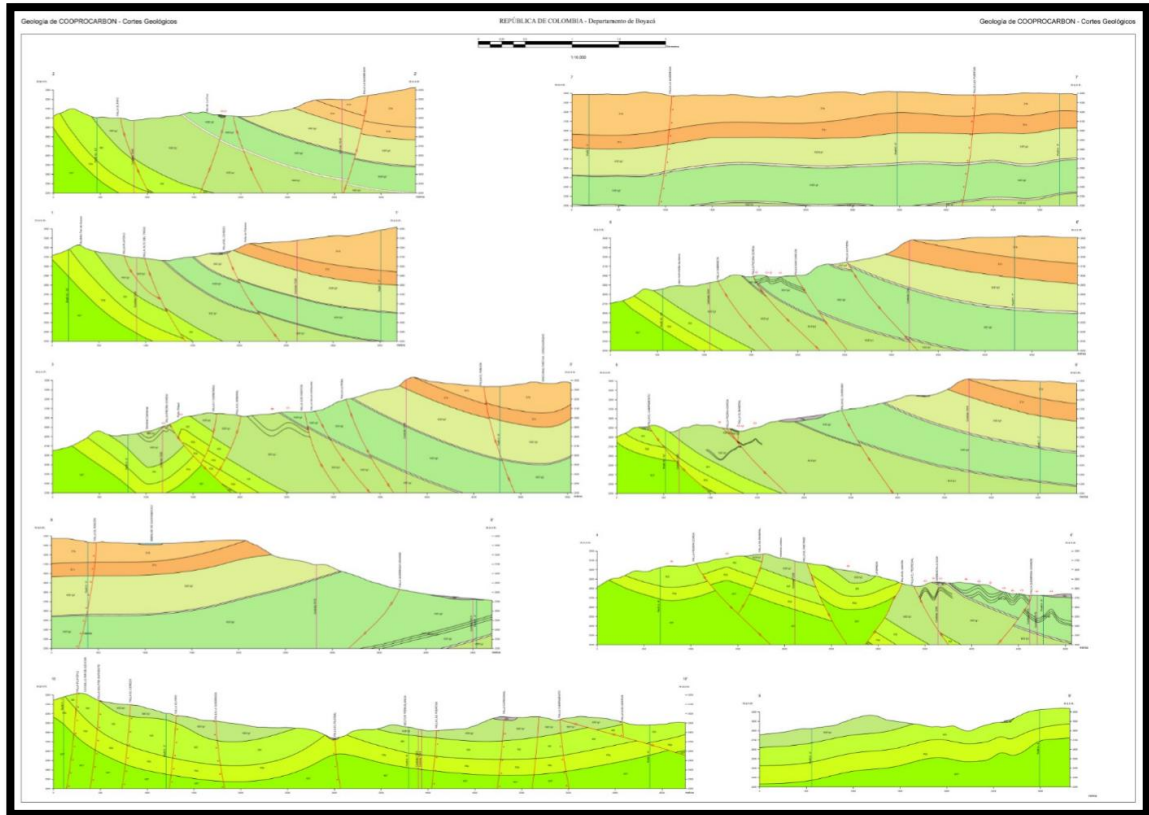


FIGURA 14, cortes geológicos para la zona de estudio. **Fuente:** autor.

Ya con los cortes geológicos se diseñó un mapa con base a los rótulos del servicio geológico (**FIGURA 15**). Finalmente a partir de los cortes geológicos y para enriquecer el entendimiento de lo encontrado en esta zona de estudio se crearon dos bloques diagramas geológicos (**FIGURA 16**) para los cuales las líneas rojas delgadas representan los ejes de plegamiento, las líneas rojas de mayor grosor corresponden a fallas geológicas y las líneas de color magenta equivalen a los títulos mineros.

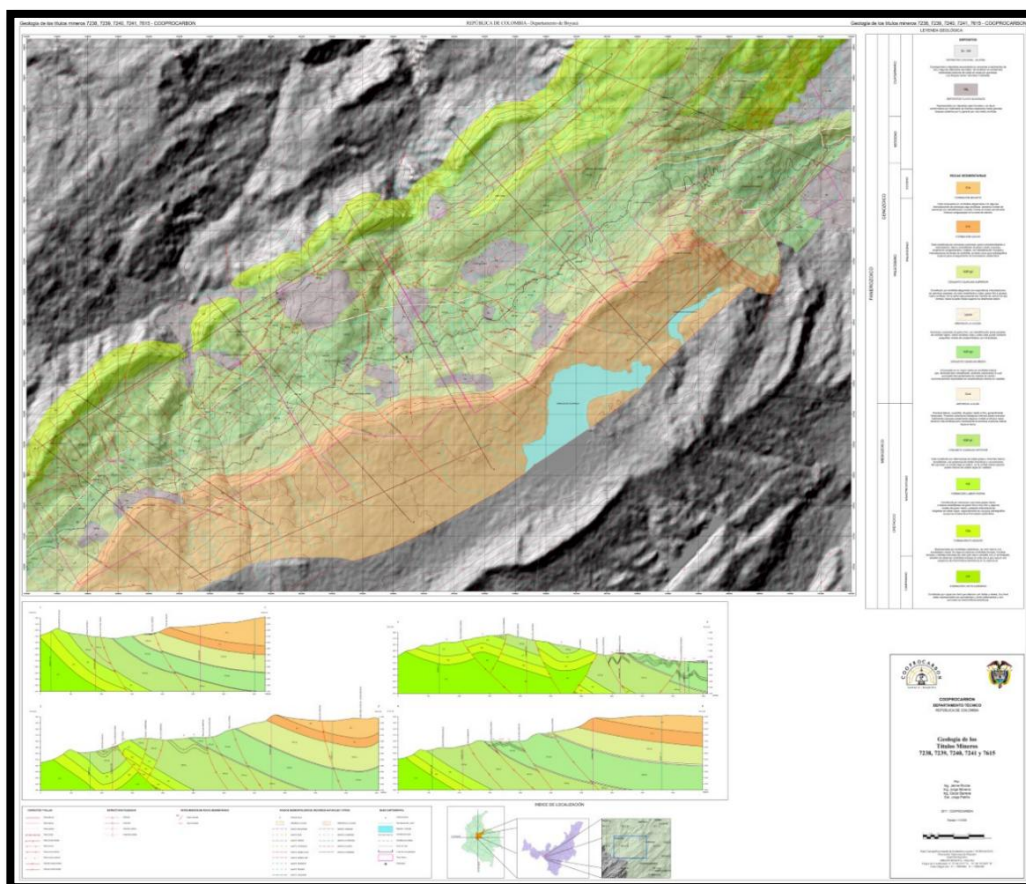


FIGURA 15, mapa geológico general con cortes geológicos más representativos para la zona de estudio. **Fuente:** autor.

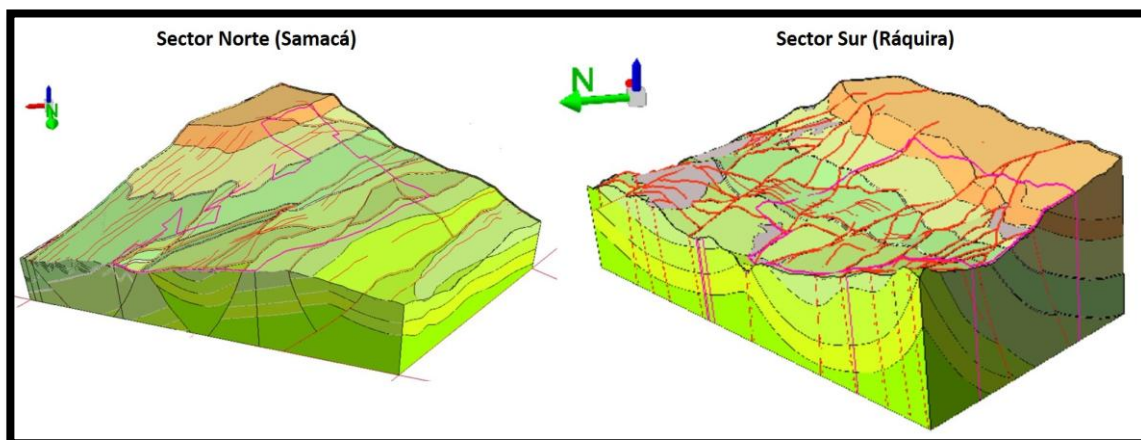


FIGURA 16, bloque diagramas geológicos para la zona de estudio. **Fuente:** autor.

5.6 FASE DE ELABORACIÓN DEL INFORME FINAL Y SUSTENTACIÓN DEL PROYECTO.

Una vez finalizada la creación de la nueva cartografía geológica y seccionada por contratos se creó un documento explicativo para cada Contrato en el cual se plasmaron los resultados del presente proyecto. Parte de esos documentos se muestran en el presente informe (ver resultados). Para la elaboración de este informe final se tuvo en cuenta el *Reglamento Para La Presentación De Trabajos De Grado* (UPTC. 2014), se consideró además el primer proyecto geológico hecho para Cooprocabon en años anteriores (Acosta, R. 1979) y también se consideraron algunos informes de prácticas empresariales (Vera, C. 2014) (Hernandez, H. 2008).

6. CONTEXTO GEOLÓGICO

6.1 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

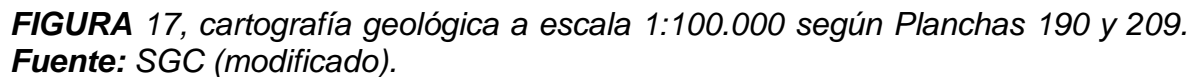
La estructura geológica de mayor interés en cuanto a reservas de carbón para el departamento de Boyacá y Cundinamarca es el sinclinal de Chécua – Lenguazaque (también llamado de Guachetá) el cual se describe a continuación conforme lo hizo el Servicio Geológico Colombiano (antes Ingeominas) en las memorias explicativas de las planchas 190 (Fuquen, J; Osorno, J. 2005) y 209 (Montoya, D; Reyes, G. 2003), como también en el libro *El Carbón Colombiano* (Ingeominas. 2004).

Según la memoria de la Plancha 190 (Fuquen, J; Osorno, J. 2005) donde lo describen como el “Sinclinal de Guachetá” corresponde a una estructura sinclinal que se extiende desde la población de Zipaquirá (Plancha 209) hasta la población de Cucaita (Plancha 191) y fue denominada por McLaughlin and Arce (1975) con el nombre de sinclinal de Checua. Fue descrito como una estructura asimétrica, con el flanco oriental más inclinado y en ocasiones invertido por efecto de la falla de Cucunubá. En el núcleo afloran rocas de la Formación Bogotá y en los flancos las rocas del Grupo Guadalupe.

Según la memoria de la Plancha 209 (Montoya, D; Reyes, G. 2003) donde lo describen como “Sinclinal de Chécua” por McLaughlin & Arce (1975), corresponde a la estructura sinclinal localizada entre las localidades de Zipaquirá y Lenguazaque y que hacia el norte continua en la plancha 190 con el nombre de Guachetá. También fue descrito como una estructura asimétrica con el flanco oriental más inclinado y en ocasiones invertido por efecto de la falla de Cucunubá. Hacia el sur, muestra plegamientos menores y está cubierto por depósitos cuaternarios de la Sabana de Bogotá. En el núcleo están en rocas de la Formación Bogotá y en los flancos las Formaciones Cacho y Guaduas.

En el libro *El Carbón Colombiano* (Ingeominas. 2004) la zona carbonífera de Guachetá – Samacá es descrita así: En el área afloran rocas de las formaciones Tierna, Guaduas (portadora de los carbones), Cacho, Bogotá, Regadera y depósitos cuaternarios. La estructura principal en el área es el Sinclinal Checua - Lenguazaque - descrito al sur en Cundinamarca - que se prolonga hasta los alrededores de Samacá, donde se presenta su cierre. Es una estructura amplia, asimétrica, cuyo eje presenta una dirección N45°E, con buzamientos promedios, en el flanco occidental, de 40° y en el oriental entre 55° y 60°. Sobre el cierre del sinclinal los estratos son, prácticamente, horizontales con buzamientos menores a 10°.

La **FIGURA 17** muestra la cartografía geológica a escala 1:100.000 propuesta por el Servicio Geológico Colombiano para la zona de estudio



Rocas Sedimentarias

Grupo Guadalupe (K2):

El Grupo Guadalupe (Pérez, G; Salazar, A. 1978) corresponde a la misma Formación Guadalupe Nombrada por Hubach, E. (1957). Básicamente este Grupo está dividido de base a techo en las Formaciones Arenisca Dura (Lidita Superior

para esta zona); Plaeners; Labor – Tierna aflorando por acción de fallas inversas toda la secuencia estratigráfica. Cabe aclarar que el trabajo estratigráfico en las Formaciones de este Grupo no fue muy detallado por no contener mantos de carbón.

6.2.1 Formación Lidita Superior (K2l):

Para De Porta (1965), la Lidita Superior está constituida por capas de chert que alternan con lutitas y shales; los chert están representados por porcelanitas y chert carbonáceos y son comunes foraminíferos bentónicos. Montoya y Reyes (2005), reportan, en la posición estratigráfica de la Formación Arenisca Dura, una secuencia lidítica que se extiende desde las Lagunas de Neusa y Suesca en dirección NE y que había sido denominada por Renzoni (1981) como Formación Plaeners en la región de Villa de Leyva pero es claro que esta secuencia lidítica se encuentra por debajo de la Formación Plaeners. Por lo anterior se acoge para esta secuencia lidítica la denominación Lidita Superior (Montoya, D; Reyes, G. 2005), en el sentido dado por De Porta (1965). Cabe decir que en esta zona de estudio se encontró alternancia de las litologías nombradas con bancos gruesos de arenisca fina con foraminíferos bentónicos (**FIGURA 18**).

El espesor de esta Formación, de acuerdo a lo reportado en la Plancha 190 Chiquinquirá, es de 72 m. Para la zona de estudio se consideró un espesor de 160m, teniendo en cuenta las planchas a escala 1:100.000 tomadas como referencia y el estudio de GMAC (SGC. 2013).

Follmi et al. (1992) con amonitas, asigna para la Formación Plaeners una edad Campaniano Tardío, por lo tanto la Formación Lidita Superior se restringe al Campaniano temprano. De acuerdo con Montoya y Reyes (2005) la edad para la Formación Lidita Superior es Campaniano Inferior. (83.6 \pm 2 Ma.)



FIGURA 18, afloramiento de la Formación Lidita Superior (K2l) en la vereda Ruchical Contrato 7239. **Fuente:** autor.

6.2.2 Formación Plaeners (K2p):

Renzoni (1962, 1968), en los trabajos de la Sabana de Bogotá le dio el rango de Formación al anteriormente llamado conjunto Plaeners. Pérez y Salazar (1978) redefinen esta formación propuesta por Hubach que aflora en el Alto del Cable, por el camino de la Estación de La Cuchilla, al norte de Usaquén. En la zona de Tausa, está representada por arcillolitas negras, bancos de arcillolitas con intercalaciones de capas medias y gruesas de limolitas silíceas y lodolitas arenosas con abundancia de foraminíferos bentónicos; suprayaciendo intercalaciones de chert y liditas, limolitas silíceas y areniscas de grano muy fino, los foraminíferos bentónicos son comunes hasta el techo de la formación.

Con respecto al espesor de esta Formación, en la Plancha 190 Chiquinquirá, se reporta el levantamiento de una sección estratigráfica hacia el SE del municipio de Guachetá, de 223m. Para la zona de estudio se consideró un espesor de 140m, teniendo en cuenta las planchas a escala 1:100.000 tomadas como referencia y el estudio de GMAC (SGC. 2013). En la zona de estudio esta Formación está representada por arcillolitas caoliníticas, de color blanco con tonalidades rojizas, en algunos sectores se evidencia la presencia de arcillolitas limosas, limolitas silíceas y lodolitas arenosas de color gris claro a amarillo con un entrecorrido, también se observan arcillolitas limosas de color gris a gris oscuro con presencia de

foraminíferos bentónicos en su estructura. Las figuras 19 y 20 muestran las características generales de los afloramientos Plaeners.



FIGURA 19, afloramiento de la Formación Plaeners (K2p) bajo la Formación Labor - Tierna (K2t) en cercanías a la falla El Ancón Contrato 7239. **Fuente:** autor.



FIGURA 20, afloramientos de la Formación Plaeners en cercanías a la Formación Lidita Superior en el Contrato 7239. **Fuente:** autor.

El ambiente de deposición corresponde a zonas marinas de aguas tranquilas de poca profundidad, formando depósitos lodosos

La edad datada paleontológicamente por Diana Gutiérrez (SGC. 2013) es Campaniano – Maastrichtiano. De acuerdo con Follmi et al. (1992) en Vergara y Rodríguez (1997) se ha datado como Campaniano Superior a Maastrichtiano Temprano. (76.1 – 72.1 \pm 2 Ma.).

6.2.3 Formación Labor – Tierna (K2t):

Renzoni G. (1968) utiliza este término para referirse conjuntamente a las Formaciones Arenisca de Labor y Arenisca Tierna, miembros del Grupo Guadalupe. Pérez y Salazar (1978) separa la Formación Labor y Tierna en Formación Arenisca de Labor y Formación Arenisca Tierna. Ulloa y Rodríguez (1991), Montoya y Reyes (2005) de acuerdo a la similitud litológica y expresión morfológica emplean en una sola unidad a las dos formaciones Arenisca Labor y Arenisca Tierna y la denominan Arenisca de Labor-Tierna, con lo cual estuvo de acuerdo el estudio de GMAC (SGC. 2013) y está de acuerdo el presente estudio.

Montoya y Reyes (2005) han registrado para esta Formación un espesor de 123m en cercanías de Cucunubá. Para la zona de estudio se consideró un espesor de 160m, teniendo en cuenta las planchas a escala 1:100.000 y 1:10.000 tomadas como referencia y los trabajos fotogeológicos hechos.

El contacto con la Formación Guaduas es neto y se caracteriza por un fuerte cambio en la morfología (**FIGURA 21** y **23**), aunque en ocasiones este contacto puede estar cubierto por depósitos cuaternarios (**FIGURA 22**). Esta Formación es muy importante porque sirve de guía estratigráfica inferior a la Formación carbonífera; está constituida principalmente por areniscas cuarzosas, grises claras a blanco amarillentas, de grano fino a grueso, en ocasiones friables, con intercalaciones delgadas de lutitas y limolitas; presenta un alto grado de bioturbación. Se caracteriza morfológicamente por resaltar en el paisaje con escarpes de más de 50° de buzamiento hacia la parte sur de la zona en estudio. Etayo (1964) asigna la edad como Maastrichtiano medio. Pérez y Salazar (1978) como Maastrichtiano Inferior. Sarmiento (1992) reporta la zona bentónica Siphogenerinoides bramlettei, a la que considera de edad Maastrichtiano tardío. Fúquen y Osorno (2005) Sugieren como edad para la Formación Arenisca Tierna el Maastrichtiano medio. (72.1 – 68 \pm 0.2 Ma.).

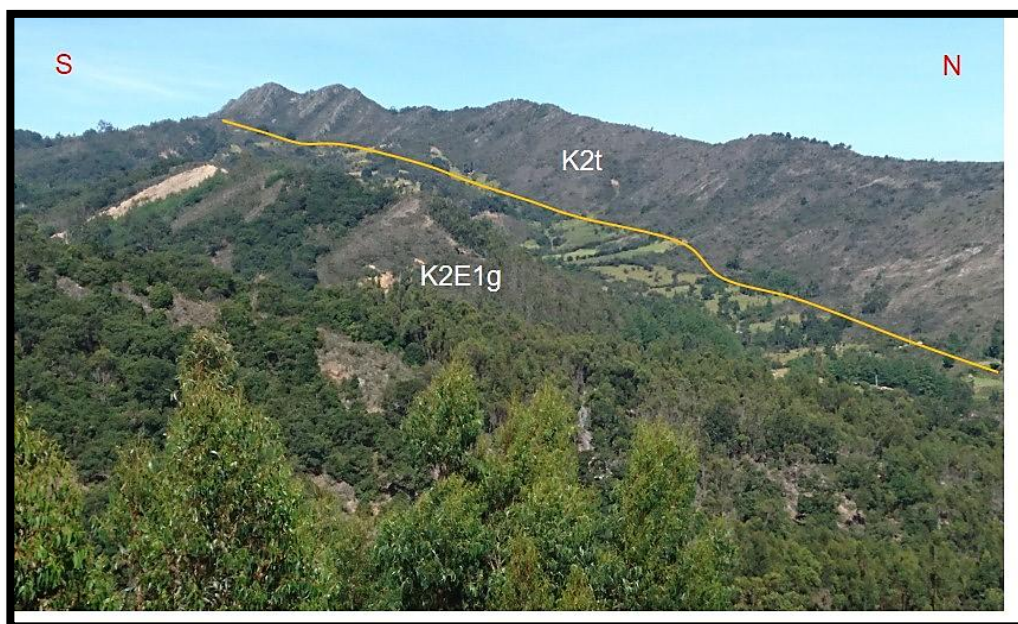


FIGURA 21, contacto neto entre las Formaciones Labor - Tierna (K2t) y Guaduas (K2E1g) en el Contrato 7240. **Fuente:** autor.



FIGURA 22, contacto entre las Formaciones Labor - Tierna (K2t) y Guaduas (K2E1g) cubierto por depósitos Cuaternarios fluvio glaciales (Qfg) en el Contrato 7241. **Fuente:** autor.



FIGURA 23, contacto entre las Formaciones Labor - Tierna (K2t) y Guaduas Conjunto Inferior (K2E1g1) en cercanías a El Horizonte Contrato 7239. **Fuente:** autor.

6.2.4 Formación Guaduas (K2E1g):

El término Guaduas fue empleado por primera vez, por Hettner A. (1892) para designar todos los sedimentos que en la región de Bogotá se encuentran por encima de la formación Guadalupe. Hubach E. (1957) restringe el sentido del Guaduas, quedando limitado en su parte inferior por el Guadalupe y en la superior por la arenisca del Cacho.

Esta Formación es la que contiene los mantos de carbón explotables, por tanto es el principal objeto de nuestro estudio. Van Der Hammen (1957), palinológicamente asigna la edad de la Formación Guaduas como Maastrichtiano-Paleoceno. Por palinología también, Sarmiento (1992) asigna una edad Maastrichtiano superior–Paleoceno inferior.

En el sitio de estudio esta Formación de acuerdo a la nomenclatura del SGC y lo propuesto por Hubach E. (1957) se encuentra dividida en tres conjuntos o miembros que regionalmente son llamados Guaduas Inferior, Guaduas Medio y Guaduas Superior. El estudio de GMAC desarrollado en la zona de estudio (SGC. 2013) realizó cartografía geológica a escala 1:10.000 (ver figura 35) para la cual se asimiló lo propuesto por Nigrinis (1975) el cual subdivide la Formación Guaduas en cinco niveles denominados K2E1g1, K2E1g2, K2E1g3, K2E1g4 y K2E1g5. En el presente estudio y según lo considerado para la reciente actualización de la cartografía

geológica por parte de Cooprocabon, se utilizó la subdivisión de tres conjuntos la cual se corresponde con lo propuesto por Nigrinis de la siguiente manera:

Guaduas Inferior. Corresponde a las unidades K2E1g1 y K2E1g2.

Guaduas Medio. Corresponde a la unidad K2E1g3.

Guaduas Superior. Corresponde a las unidades K2E1g4 y K2E1g5

Con la finalidad de cumplir con los estándares cartográficos más recientes propuestos por el SGC, la simbología de los tres conjuntos de la formación guaduas aceptados por Cooprocabon también usaran las siglas K2E1g. Cabe decir además que los mantos de carbón presentes en la zona de estudio reciben los mismo nombres a lo largo de toda el área, razón por la cual no se desarrolló una correlación de mantos con nombres de otras zonas de estudio.

En la zona de estudio afloran los tres Conjuntos descritos a continuación:

Conjunto Guaduas Inferior (K2E1g1): corresponde a la sucesión estratigráfica localizada entre el techo de la Formación Labor – Tierna y un paquete de arenisca de la Formación Guaduas denominada Arenisca La Guía. Inicialmente corresponde a una unidad estéril compuesta por alternancias de lutitas grises y limolitas blanco amarillentas, también con presencia de lentes limoníticos y concreciones ferruginosas. Sobre los 130 metros aparece el primer manto de carbón (ver tabla 2) llamado Manto Cisquera e inicia la zona productiva de este primer Conjunto (**FIGURA 24**). En esta parte las litologías corresponden inicialmente a secuencia de areniscas de grano muy fino con intercalaciones de limolitas lodosas, seguido de una alternancia de areniscas de grano muy fino a medio de color blanco, limolitas de color gris a gris oscuro y lodolitas con presencia de materia orgánica, la parte superior presenta una secuencia de limolitas, areniscas de grano muy fino a medio y arcillolitas limosas a arcillolitas con presencia de macrorestos vegetales, materia orgánica, concreciones irregulares. Se identifican 10 mantos de interés con espesores que varían entre 0.40 a 1.60 m. estos mantos de carbón en la región son llamados de bajos volátiles y son excelentes para la producción de coque metalúrgico. El espesor total aproximado de este Conjunto es de 500 a 520 m.



FIGURA 24, manto de carbón con intercalaciones donde inicia la zona productiva del Conjunto Guaduas Inferior en la Vía Cipri – Campamento Contrato 7241.
Fuente: autor.

Arenisca La Guía: Como lo indica su denominación, es un excelente horizonte-guía por su gran continuidad regional. Se trata de una arenisca blanca, cuarcítica, de grano medio a fino, generalmente fracturada. Esta arenisca presenta variaciones litológicas internas; en el sitio de Cuchinillos es una arenisca totalmente cuarzosa presentando algunos niveles arcillosos; más hacia el suroeste hasta el sitio de Cruz Colorada esta arenisca se hace más arcillosa pero manteniendo la arenisca cuarzosa intacta hacia el techo. A pesar de esto la distancia estratigráfica con los mantos de carbón se mantienen estables en todo el yacimiento. Presenta un espesor entre 15 y 25m. Por su resistencia se caracteriza por aflorar en las laderas estructurales que anteceden a las laderas de la Formación Labor – Tierna. Los afloramientos representativos de esta arenisca se encuentran en el contrato 7239 (**FIGURA 25**), aunque a pesar de su rigidez puede estar cubierto por depósitos cuaternarios como en el Contrato 7238 (**FIGURA 26**).

Para el Contrato 7241 y en partes del Contrato 7240 se encontró un nivel arenoso (muy similar al nivel Arenisca La Guía) entre el manto Bocatoma y un zuncho en su

parte inferior (100 metros debajo de La Guía). Dicha arenisca se muestra en la **FIGURA 27**.



FIGURA 25, pliegue sinclinal la Arenisca Guía en la vía La Banda – La Fábrica.
Fuente: autor.



FIGURA 26, deposito cuaternario cubriendo la Arenisca Guía en el Contrato 7238.
Fuente: autor.



FIGURA 27, nivel arenoso similar a la Arenisca La Guía en el Contrato 7241.
Fuente: autor.

Conjunto Guaduas Medio (K2E1g2): miembro limitado en la base por la Arenisca La Guía y en la parte superior por un grueso paquete de arenisca denominada Arenisca La Lajosa. Hacia la base se constituye de arcillolitas de color gris a gris oscuro, con presencia de láminas de carbón, restos de materia orgánica, macrorestos vegetales, arcillolitas de color gris claro con manchas rojizas y esferulitas, arcillolita limosa de color gris a gris oscuro, limolitas con láminas de arenisca de grano muy fino y areniscas de grano muy fino a medio. Hacia la parte media, arcillolitas de color gris a gris claro con intercalaciones de limolitas de color pardo, arcillolitas de color gris claro con presencia de óxidos y materia orgánica dispersa, presencia de concreciones de siderita y hacia el techo arcillolitas, arcillolitas carbonosas, arcillolitas limosas con presencia de esferulitas, limolitas, concreciones, macrorestos vegetales, mantos y cintas de carbón (SGC 2013). En la zona de estudio se trabajan hasta 5 mantos de carbón con espesores entre 0.60 a 2.70 m. Estos mantos de carbón en la región son llamados carbones de medios volátiles, en este se concentra la mayor parte de explotaciones mineras, el espesor de los mantos varía de 0,40 a 5,45m los cuales tienen algunas intercalaciones de estéril que complican su extracción y reducen el espesor de carbón aprovechable. El espesor total de este miembro varía entre 230 a 260m.

Arenisca La Lajosa: este nivel es equivalente al Segmento 8 propuesto por Sarmiento (1994). Está conformado por areniscas de grano fino con laminación plana paralela discontinua (**FIGURA 28 y 29**), características por las cuales se fragmenta en forma de “lajas”. A partir de este nivel inicia un dominio arenoso en la Formación Guaduas. Presenta un espesor de hasta 10 metros. Su importancia radica en que indica el límite de los carbones más importantes para la región.



FIGURA 28, afloramiento de la Arenisca La Lajosa en el Contrato 7241. **Fuente:** autor



FIGURA 29, afloramiento Arenisca La Lajosa en parte alta de explotación Peña negra Contrato 7238. **Fuente:** autor.

Conjunto Guaduas Superior (K2E1g3): limitado en la base por la Arenisca La Lajosa y en la parte superior por la Formación Cacho. A casi 15 metros del techo de la Arenisca La Lajosa se encuentran dos mantos de carbón de 70 cm de espesor los cuales presentan características de carbón tipo térmico (alto contenido en volátiles). En la región son llamados Mantos Comerciales y son de poco interés económico. Este conjunto está conformado principalmente por una serie de bancos de arenisca cuarzosa intercalados con arcillolitas sobre las cuales se presentan series de arcillolitas abigarradas de apariencia bioturbada que alternan con limolitas lodosas y niveles de areniscas líticas en forma de lentes interdigitados. El espesor de este miembro es de 350 m aproximadamente. La morfología de este Conjunto cercano al contacto con la Formación Cacho se observa en la **FIGURA 30, 31 y 32**.



FIGURA 30, contacto neto entre las Formaciones Cacho (E1c) y Guaduas (K2E1g) en el Contrato 7240. **Fuente:** autor.



FIGURA 31, morfología del Conjunto Guaduas Superior y su contacto con la Formación Cacho marcado por el fuerte cambio de pendiente en el Contrato 7238. **Fuente:** autor.



FIGURA 32, morfología del Conjunto Guaduas Superior (K2E1g3) y su contacto con la Formación Cacho (E1c) en el Contrato 7615. **Fuente:** autor.

6.2.5 Formación Cacho (E1c):

Campbell C. (1962) elevó a la categoría de Formación a la arenisca del Cacho observada en Bogotá sobre la Formación Guaduas. Está constituida por arenisca cuarzosa de color blanco, gris, amarillento y con algunos tonos rojizos. Generalmente de grano medio, a veces localmente conglomerático, matriz arcillosa; presenta estratificación en capas gruesas y laminación cruzada, su cemento es ferruginoso.

La formación se destaca en la morfología formando riscos y escarpes los cuales se toman como una guía estructural por ser continua en la mayor parte de la cuenca carbonífera. El contacto inferior con la Formación Guaduas es concordante y transicional, se evidencia por la presencia de los bancos arenosos en el techo del Guaduas; esta formación aflora en toda la zona. Además la mayor parte de los bloques que conforman los depósitos Cuaternarios correspondían a esta Formación. Presenta un espesor entre 150 y 180m. Según Van der Hammen (en Hubach. 1957), la edad de la Formación Cacho es Paleoceno inferior dada la presencia de Proxapertites operculatus. MacLaughlin & Arce (1972) asigna la edad de Paleoceno con base en paleoflora estudiada por Van der Hammen (1957). Sarmiento (1994 b) con base en los contactos le asigna como edad Paleoceno Superior.

6.2.6 Formación Bogotá (E1b):

Hubach E. (1957) considera como Formación Bogotá a un conjunto de arcillas y areniscas, limitando su base en la arenisca de la formación Cacho y su techo en la base de la arenisca La Regadera.

Esta Formación aflora hacia la parte alta de la zona de estudio formando el núcleo del Sinclinal Checua-Lenguazaque. Está compuesto por arcillolitas abigarradas con algunas intercalaciones de areniscas arcillosas, también presenta niveles de areniscas con estratificación cruzada. El techo de la Formación lo constituyen arcillolitas de color gris y amarillo (SGC 2013). En la plancha 209 se informa que Montoya y Reyes (2005) levantaron una columna estratigráfica en el Sinclinal de Checua con un espesor de 575m.

La edad asignada para esta Formación es Paleoceno, de acuerdo a muestras palinológicas analizadas por Van der Hammen (1957). Van der Hammen (en Hubach. 1957) por análisis de fauna considera como edad el Paleoceno, Hubach (1957) le asigna una edad Paleoceno tardío y posiblemente Eoceno, Hoorn (1988) determina una edad Paleoceno Superior Eoceno Inferior.

La morfología más estable (sin pliegues) para la zona de estudio se presenta en la **FIGURA 33**.



FIGURA 33, contactos entre las Formaciones presentes para la zona de estudio en el Contrato 7240. **Fuente:** autor.

6.2.7 Depósitos Cuaternarios

Representados por depósitos de talud, conformados por materiales de diversos espesores hasta grandes bloques cubiertos por lo general por una matriz arcillosa,

esta clase de depósitos son comunes en este sector debido a la tectónica presente. (Ver Plano Geológico y Perfiles). Se caracteriza por presentar depósitos cuaternarios que provenientes del Conjunto K2E1g3 y la Formación Cacho descienden hasta el contacto K2e1g1 – K2t.

Dentro de los depósitos no consolidados se diferenciaron en general tres tipos, del más antiguo al más reciente son

Depósitos Fluvio Glaciales (Qfg):

Constituidos por capas gruesas con bloques y fragmentos subangulares de areniscas de grano fino a medio envueltos en una matriz arcillosa a arenosa, clastosoportados y localmente imbricados. Forman abanicos, con longitud larga, laderas rectas, convexas e inclinadas. Se encuentran cubriendo gran parte de la formación carbonífera (**FIGURA 34**), su espesor puede oscilar entre los 2 a 50m dependiendo del sitio donde se depositaron.

Depósitos Coluviales (Qc):

Los depósitos de Derrubio o Coluviales también se constituyen por acumulaciones de bloques y guijos angulares, especialmente sobre las pendientes o laderas que son producidas por fenómenos gravitacionales.

Depósitos Aluviales (Qal):

Son el producto del retrabajamiento de todos los sedimentos y sedimentitas que afloran en el área y que en la actualidad se hallan relleno los diferentes valles de ríos y quebradas de la región.



FIGURA 34, *características generales de un deposito Cuaternario fluvio glacial.*
Fuente: autor.

El estudio de GMAC hecho en el año 2013 por el Servicio Geológico Colombiano para el cual los resultados no fueron económicamente favorables, realizó cartografía geológica a escala 1:10.000 la cual se presenta en la **FIGURA 35**. Respecto a su comparación con la cartografía que se presenta en este informe, esta se desarrollará en la sección de análisis y conclusiones.

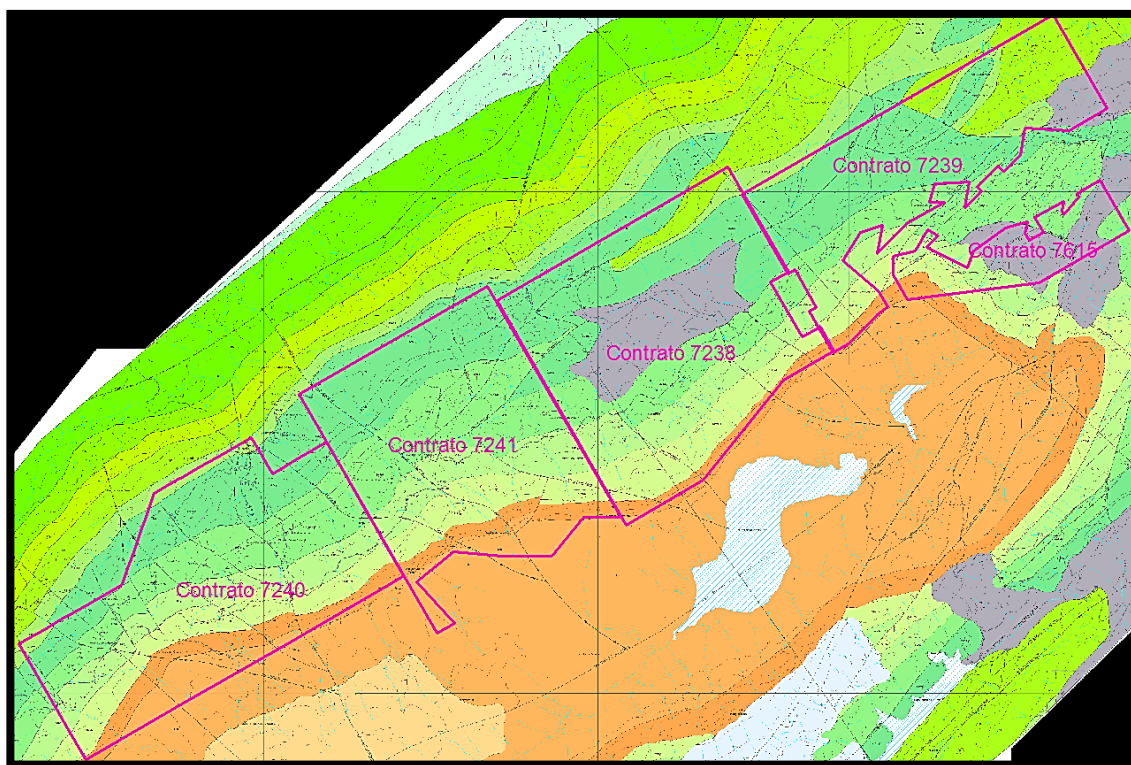


FIGURA 35, mapa geológico a escala 1:10.000 propuesto por el SGC (2013) para la zona de estudio. **Fuente:** SICAT

6.3 GEOLOGÍA DE LOS MANTOS CARBONÍFEROS DE CARBÓN.

Junto con la actualización cartográfica a que hace referencia este informe se revisó la información creada para los PTO del año 2008 correspondiente a la geología de mantos. Esta información se actualizó respecto a los cambios encontrados en el transcurso de los últimos años por el departamento técnico.

Los carbones con espesores considerados como económicamente explotables por la Cooperativa son descritos a continuación teniendo en cuenta la división de la Formación Guaduas en los Conjuntos Guaduas Inferior y Guaduas Medio. Sin embargo vale la pena aclarar que se presentan otras capas de carbón de poco espesor que en un momento determinado pueden llegar a ser económicamente explotables. Ver **Tabla 2**

| | | |
|------------------------------|------------------------|--------|
| K2E1g3 (350m) | Manto Comercial 2 | 0,90 m |
| | Manto Comercial 1 | 0,70 m |
| | ARENISCA LAJOSA | 15 m |
| K2E1g2 (350m) | Manto Siete bancos | 3,0 m |
| | Manto La grande | 1,50 m |
| | Manto La tercera | 0,90 m |
| | Manto La limpia | 0,80 m |
| | Manto La ligada | 0,50 m |
| K2E1g1 (500-520m) | ARENISCA GUÍA | 10 m |
| | Manto Bocatoma | 1,30m |
| | Manto El Rubí | 1,0 m |
| | Manto El Pedro | 1,10 m |
| | Manto El consuelo | 0,80 m |
| | Manto Gemela sup. | 0,85m |
| | Manto Gemela inf. | 1,0 m |
| | Manto Tesorito | 0,8 m |
| | Manto Tesoro | 0,90 m |
| | Manto Cisquera | 1,10 m |

Tabla 2, división por Conjuntos de los mantos de carbón presentes en la Formación Guaduas para la zona de estudio. **Fuente:** Departamento técnico Cooprocabon – autor.

5.3.1. GUADUAS INFERIOR

Manto Cero. Separado estratigráficamente a 115m del techo de la Formación Labor - Tierna y separado del manto Cisquera a una distancia de 10-15m, es un manto con una intercalación de 0.4 a 0.05m de lutita carbonosa, este manto tiene un espesor variable de 0.5 a 1.10m contando la intercalación, es un manto blando, de aspecto lustroso, poco rentable económicamente.

Manto La Cisquera. Se localiza a 130m sobre el techo de la Formación Labor - Tierna, se identificó en las minas Mantos del Altiplano, El Encanto y Carboneras; corresponde a un manto limpio, de aspecto brillante, relativamente blando, con espesor de 0.90 a 1.10m, como referencia estratigráfica de éste se encuentra una capa de carbón de 0.1 a 0.4m de espesor a más o menos 2 a 4m por encima del manto, sin embargo hacia el sector de Guachetá ésta cinta de carbón presenta mayor espesor siendo económicamente explotable.

El respaldo superior lo constituyen Lutitas laminares grises relativamente blandas que incluyen pequeños lentes de carbón, el respaldo inferior se compone

generalmente de arcillolitas de color gris poco compactas, en general presenta un rumbo entre N30° a 45° E y buzamiento hacia el SE.

Manto Tesoro. Localizado estratigráficamente a unos 60m sobre el manto La Cisquera, debido a la tectónica que se presenta en esta zona hacia la parte sur disminuye un poco esta separación entre mantos; este manto presenta un espesor de 0.90m. Es relativamente blando, semibrillante y limpio.

Los respaldos tanto superiores como inferiores lo constituyen arcillolitas grises un poco blandas, presentan el mismo rumbo y buzamiento del manto La Cisquera.

Manto Tesorito. Suprayace al Manto Tesoro en una distancia estratigráfica de unos 3 a 4m, presentando un espesor promedio de 0.80 m, este manto es limpio, semibrillante y medianamente duro.

El respaldo inferior lo constituyen limolitas grises algo blandas y el superior constituido por arcillolitas bastante duras con laminación interna lenticular que tratan de gradar a areniscas cuarzosas de grano fino.

Manto Gemelas. Son dos mantos que estratigráficamente están separados por unos 3m y sus espesores son muy parecidos.

-Superior. Se encuentra sobre el manto Tesorito a una distancia estratigráfica de 45 a 50m, en éste intervalo se presenta una capa de carbón de unos 0.40m con una intercalación en su parte media para un espesor total de 0.85m, es limpio, semibrillante y un poco duro.

-Inferior. Por debajo del anterior manto, a unos 3m, se localiza otro manto de carbón, con un espesor promedio de 0.60 m, ésta capa al sur de Guachetá presenta un espesor promedio de 0.9 a 1 m. Sus respaldos lo constituyen arcillolitas semi-duras, mantiene el rumbo de N 45° E y el buzamiento promedio entre 30° y 40 ° al SE.

Manto El Consuelo. Este manto se localiza estratigráficamente entre 100 a 110m aproximados por encima del manto Gemela Superior, su espesor es de unos 0.60 a 0.80m, este manto es limpio, semibrillante y duro. Sus respaldos lo constituyen limolitas compactas y de resistencia aceptable.

Manto El Piedro. Se localiza estratigráficamente por encima del manto El Consuelo a una distancia de 15 a 20m aproximadamente, presenta un espesor total de 1.0m, presenta una intercalación de estéril de 0.15m hacia la parte media; (0.45 m de carbón, 0.15m de estéril y 0.40m en carbón), es semibrillante y bastante duro. El respaldo inferior es limolita bastante dura, en tanto que el respaldo superior está compuesto por arcillolitas algo carbonosas, lo que origina que su estabilidad sea regular.

Manto El Rubí. A una distancia estratigráfica de 15m este manto Suprayace al manto El Pedro, presenta un espesor de 0.9 a 1m, es limpio, semibrillante, medianamente duro. Sus respaldos son buenos, tanto el respaldo inferior como el superior están constituidos por arcillolitas limosas relativamente duras.

Manto Bocatoma. Estratigráficamente se localiza a 40 m por encima del manto El Rubí y a 120 m estratigráficos por debajo del techo de la Arenisca La Guía la cual es el límite superior del miembro del Guaduas inferior. Es un manto con buena continuidad, presenta un espesor aproximado de 1.30 m, con una intercalación de lutitas carbonosas de 0.5 a 0.45m de espesor hacia la parte baja de éste. En algunos sectores éste manto alcanza los 1.80m de espesor, es brillante y relativamente duro.

Los respaldos se pueden considerar como buenos y están constituidos por limolitas bastante duras, tiene un manto de carbón de 0.1m por encima a 10 m del manto bocatoma que sirve de guía estratigráfica. Hacia el sur el manto Bocatoma presenta esta guía de carbón en la parte inferior; actualmente se ha comprobado que en lugares como El Playón 2 alcanza un espesor que la convierte en explotable.

Manto la pérdida. Se ubica estratigráficamente sobre el manto Bocatoma a una distancia entre 35 a 40m aproximadamente, este manto tiene un espesor entre 0.6 a 1.0m, actualmente en la zona este manto es económicamente explotable a pesar de las intercalaciones de estéril que posee.

Sobre anteriores mantos se puede apreciar otras cintas de carbón las cuales no son de explotación rentable; se localizan a unos 39 m por encima del manto anterior y sobre estas cintas a unos 11m estratigráficamente se tiene la Arenisca La Guía.

5.3.2. GUADUAS MEDIO

Manto La Limpia. Es el manto de los medios volátiles que más se trabaja en toda la zona esto debido a su calidad, por lo general presenta un espesor de 0.80m sin intercalaciones. Es limpio, brillante y duro. Los respaldos están constituidos por lutitas grises y son bastante compactos. Infrayace al manto La Tercera a una distancia estratigráfica que varía entre 8 a 14 m.

Manto La Ligada.

Debajo del manto la limpia a unos 3 m se ubica este manto, que en algunos sectores presenta un espesor significativo económicamente explotable; localmente su espesor varía entre 0.3 a 0.5m lo cual lo hace poco representativo para su explotación.

Manto La Tercera. A nivel regional se localiza a 110m por encima del techo de la arenisca guía, éste manto se reconoce porque es acompañante del manto La Limpia, presenta un espesor de 0.90m y presenta una intercalación de lutita carbonosa de 0.08m en la parte media, hacia la parte del techo tiene una pequeña intercalación de 0.10m de carbón con alto contenido de cenizas intrínsecas. Es relativamente duro y semibrillante.

En este contrato su espesor es de unos 0.80m a nivel local. El respaldo inferior está constituido por lutitas grises compactas y el superior por arcillolitas grises oscuras ricas en materia orgánica, por lo general presenta un rumbo promedio de N 50° E y buzamiento de 30° al SE.

Manto La Grande. Se localiza por encima del manto La Tercera a una distancia estratigráfica de 12 a 18 m, al igual que el anterior también es explotable; presenta un espesor total de 5.45m distribuidos de techo a base (0.40m en carbón, 0.35m en roca, 1.25m en carbón, 0.35m en roca, 0.75m en carbón, 2m de roca y 0.35 en carbón). Localmente su espesor es de 1.50 m en carbón. Los respaldos de éste manto están compuestos por arcillitas grises relativamente compactas. Esta pérdida de espesor se debe a que la zona presenta un alto tectonismo que genera una acción compresiva de sinclinales y anticlinales.

Manto Siete Bancos. Se encuentra localizado a unos 45m sobre el manto La Grande, tiene un espesor de 3.0m aproximadamente, está conformado de techo a base así: 0.15m de carbón, 0.20m de roca carbonosa, 1.00m de carbón explotable, 0.30m de arcillolita carbonosa, 0.35m de carbón, 0.40 de roca carbonosa, 0.35 en carbón y 0.25 en roca carbonosa que es su base. Se caracteriza por ser un manto de alto contenido en volátiles.

5.3.3. GUADUAS SUPERIOR

Manto Comercial 1. Es el segundo manto que se encuentra sobre la Arenisca La Lajosa (25 m), presentan un espesor promedio de 0.80m, un rumbo de N 70° E y buzamiento 15° SE. Este manto ya había sido explotado en años anteriores. Tiene características de carbón térmico por lo cual casi no es explotado en la región.

Manto Comercial 2. Es el primer manto que se encuentra sobre la Arenisca La Lajosa (15 m). Tiene un espesor de 0,70m, un rumbo N75°E y buzamiento 20° SE. Al igual que el manto anterior tiene características de carbón térmico por lo cual poco se explota en la región.

7. RESULTADOS

En esta sección se dará a conocer el mapa geológico a escala 1:10.000 obtenido para cada título minero. Además se incluye la descripción geológico - estructural que le corresponde a cada uno. El orden en que se da esta sección obedece a su localización geográfica iniciando en los límites con Guachetá (contrato 7240) hasta el cierre del sinclinal (contrato 7615).

7.1 GEOLOGÍA DEL TÍTULO MINERO 7240

Estructuralmente el Contrato 7240 se ubica en el flanco noroccidental del Sinclinal Checua – Lenguaque a pocos kilómetros del cierre del mismo. El Sinclinal tiene un rumbo preferencial N50°E con buzamientos promedio de 35° en el flanco de interés y 55° en el flanco suroriental. De sur a norte Inicialmente la estructura preferencial en la zona de estudio corresponde a capas monoclinales de rumbo N50°E Y de 17° de buzamiento hacia el SE en las capas cercanas a la Formación Cacho. Buzamientos que aumentan a medida que nos acercamos a la Formación Labor – Tierna donde se presentan buzamientos mayores a 50° hacia el SE. A partir del sitio conocido como el “Alto de La Cruz” los esfuerzos tectónicos se manifiestan en los sedimentos blandos en forma de pliegues anticlinales y sinclinales algunos de los cuales continúan al nororiente más allá de los límites del contrato (**FIGURA 36**)

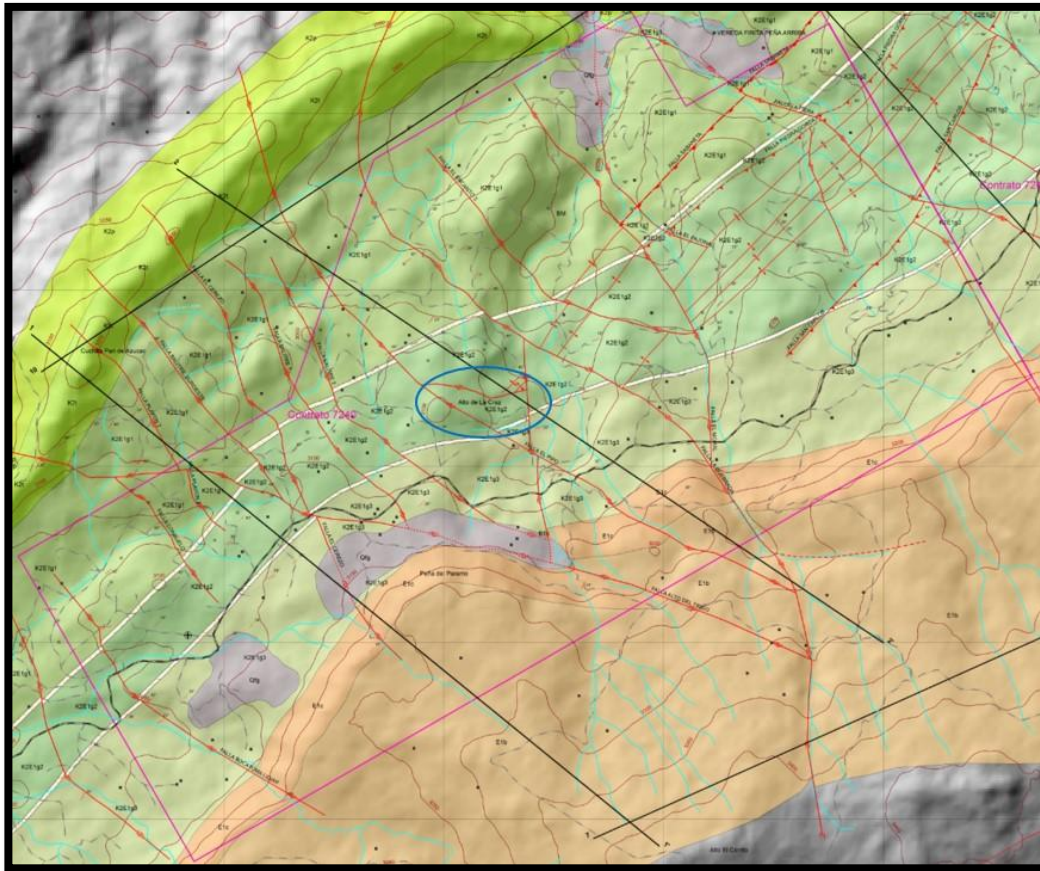


FIGURA 36, Mapa geológico del Contrato 7240. La **FIGURA** azul encierra el "Alto de la Cruz". **Fuente:** autor.

La zona de estudio se caracteriza por ser una zona de esfuerzos compresivos (en sentido rumbo y buzamiento) los cuales originaron la gran cantidad de deformaciones (**FIGURA 37**), pliegues y fallas que afectan la continuidad de los mantos de carbón (**FIGURA 38**). Estos pliegues no afectan el nivel de la Arenisca Guía gracias a su resistencia a las deformaciones. Muchas veces los plegamientos no son identificables superficialmente en las rocas de la Formación carbonífera; esto solo ha sido posible conforme avanzan las explotaciones mineras. Las fallas presentes en su mayoría son transversales de tipo sinistral y unas pocas dextrales con desplazamientos considerables (mayores a 10 metros). Además se presentan proyecciones de fallas normales e inversas regionales provenientes del cierre del Sinclinal. A continuación se explican las fallas geológicas que se presentan en el Contrato y que se muestran en el mapa y cortes geológicos anexos. La **FIGURA 39** muestra la panorámica general de las fallas geológicas y Formaciones en la zona de estudio.

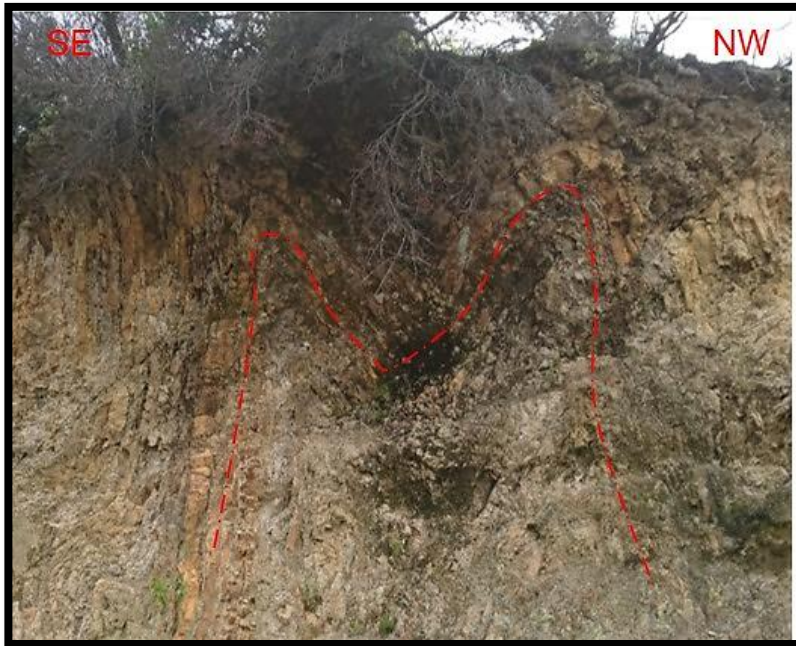


FIGURA 37, plegamientos en rocas sedimentarias del Conjunto Guaduas Medio (K2E1g2). **Fuente:** autor.



FIGURA 38, deformaciones y discontinuidades en los mantos de carbón por acción de fuerzas compresivas. **Fuente:** autor.

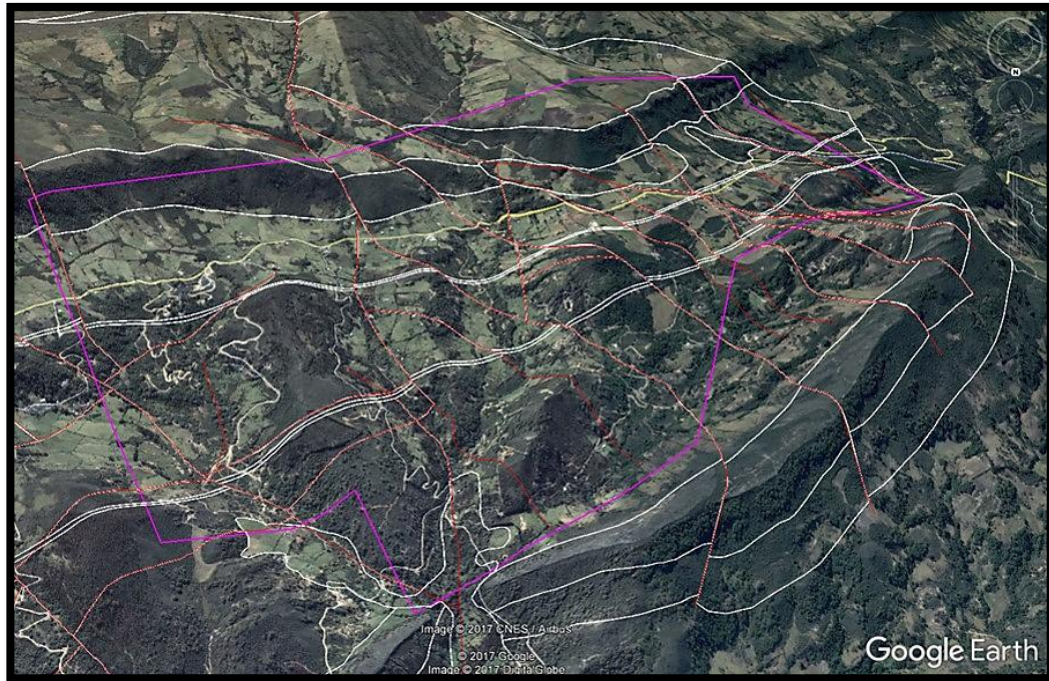


FIGURA 39, imagen satelital con el Contrato 7240 (magenta), fallas geológicas (rojo) y límites estratigráficos (blanco). **Fuente:** Google earth - Autor.

DESCRIPCIÓN DE FALLAS GEOLÓGICAS

FALLA EL CEREZO: es una falla identificada al costado occidental de la mina El Cerezo. Presenta un desplazamiento de tipo sinistral sin identificación del bloque occidental. Además se ha relacionado a la falla que separa las minas Salitre n° 1 y Salitre n° 2 Occidental. No ha sido posible identificar el desplazamiento en la Formación carbonífera pero la prolongación en la Formación Cacho permite medir fotogeológicamente un desplazamiento de casi 20 metros. Tiene una dirección aproximada N30°W.

FALLA BOCATOMA LIDIAR: falla de desplazamiento sinistral identificada en la mina Bocatoma de la empresa Lidiar. Presenta desplazamientos de hasta 16 metros en el Manto Bocatoma y de hasta 24 metros en el Manto Consuelo. Tiene una dirección promedio N45°W.

FALLA CONSUELO: falla de desplazamiento sinistral identificada en la bocamina El Consuelo y labores internas. Tiene una dirección aproximada N30°W. Se une con la falla Alto del Trigo. Parece tener un desplazamiento de casi 40 metros según prolongación de traza de mantos.

FALLA PLAYÓN 2: falla de tipo sinistral identificada al costado occidental de la mina El Playón 2, razón por la cual no se han comunicado labores al W. presenta una dirección aproximada N25°W.

FALLA SALITRE SUROESTE: al suroeste de la mina Salitre Dos hay una discontinuidad en los mantos de carbón y se llega a un bloque inexplorado. Por lo visto morfológicamente y lo correspondiente a la traza de mantos esta falla muestra su desplazamiento en la Formación Arenisca Tierna; es una falla de tipo sinistral para la cual se le calculó fotogeológicamente un desplazamiento de 70 metros.

FALLA ALTO DEL TRIGO: es una falla de comportamiento sinistral identificada inicialmente por el SGC (2013) la cual por la revisión actual ha sido relacionada a los grandes desplazamientos de bloques en la Formación Cacho identificados en la carretera que de la escuela de Firita Peña Arriba conduce a las represas. Su nombre lo recibe del Alto del Trigo por donde pasa y continúa en dirección W. El SGC nombra un desplazamiento de 30 metros, pero las labores actuales no han intentado atravesar la zona de falla. Presenta una dirección aproximada N75°W. La acción de esta falla se evidencia en las actuales labores de reubicación de la mina El Playón 2 donde las trincheras permitieron visualizar la discontinuidad lateral de los mantos en cercanías a la zona de falla.

FALLA SALITRE 1: falla sinistral identificada al oriente de la mina Salitre 1 y también al oriente de la mina El Cerezo. Presenta una dirección N48°W y un desplazamiento de hasta 25 metros. Se une con la Falla Alto del Trigo.

FALLA SALITRE 2: falla sinistral identificada en las labores que comunican las minas Salitre 1 y 2 Oriental. Presenta una dirección aproximada N25°W. En su parte norte llegó a tener desplazamientos de hasta 55 metros en dirección NE, pero este desplazamiento se va reduciendo hacia el sur.

FALLA EL PIPO: es una falla inicialmente identificada por el SGC (2013) y comprobada por la discontinuidad de los bloques carboníferos que afecta. Presenta una dirección aproximada N55°W. El SGC informa un desplazamiento aproximado de 45 metros. Las labores mineras más cercanas quedaron separadas a 130 metros pero esto puede ser por acción de fallas satélite.

FALLA LA QUEBRADA: falla dextral que recibe su nombre por ser la discontinuidad que separa las minas La Quebrada 1 y 2. Además se relaciona a la falla oriental de la mina El Suiche. Su desplazamiento se identifica en el comportamiento de los bloques de la Formación Cacho. A esta falla se unen las fallas El Pipo, El Pajonal, Alto del trigo, entre otras. Presenta una dirección N60°W y un desplazamiento de hasta 50 metros solamente identificable en los bloques de la Formación Cacho que fueron afectados.

FALLA EL ENCANTO 3: falla sinistral identificada al oriente de la mina El Encanto 3 en la labor que comunica al INCLINADO NUEVO de C.V.C. Presenta una dirección N50°W. En la parte central del contrato no se han comunicado las labores separadas por la zona de falla. Una labor comunicó el manto Consuelo con el Piedro, la separación estratigráfica es de máximo 20 metros pero por acción de la

falla la separación es de 30 metros. Por lo tanto el desplazamiento sinistral mínimo es de 10 metros para el mismo manto.

FALLA EL MORAL: falla sinistral paralela a la quebrada El Moral. Presenta desplazamientos de hasta 35 metros. Recientemente se ha comprobado que se relaciona a los desplazamientos encontrados en las minas C.V.C.

FALLA EL PAJONAL: es una asociación de fallas dextrales encontradas en las explotaciones del predio los tunos. Es paralela a la parte final de la quebrada El Moral la cual desemboca en la quebrada El Pajonal. En las explotaciones de la mina El Rubí se encontraron desplazamientos de 7 a 15 metros. Es muy importante decir que junto a esta familia de fallas se desarrollan fallas sinistral de pocos metros de desplazamiento por lo cual puede ser incierto generalizar un solo tipo de desplazamiento en esta traza de falla.

FALLA SABANETA: para este contrato esta es una prolongación proveniente del NE. Es una falla normal de dirección $N45^{\circ}E$ siendo el bloque hundido el SE. Por lo visto limita la continuidad de los bloques carboníferos en la minas El Rubí y Bocatoma al noreste del Contrato.

FALLA PIEDRA GORDA: para este contrato esta es la prolongación de una falla regional proveniente del NE (cierre del Sinclinal) aunque actualmente se estudia la veracidad de esta continuidad conforme avanza el inclinado principal de la mina Esperanza 1. Presenta una dirección $N60^{\circ}E$ y el bloque levantado es el SE con hasta 250 metros de desplazamiento.

FALLA LA FIERA: anteriormente Falla de Sabanetas o Las Puertas. Es una falla sinistral paralela a la quebrada la Fiera con dirección $N65^{\circ}W$. Las Labores mineras no han intentado atravesarla pero según el SGC presenta un desplazamiento de 50 metros.

FALLA SAN CARLOS: falla inversa de dirección $N30^{\circ}E$ que fue identificada en trabajos anteriores y que se presume en labores mineras por la discontinuidad. El bloque levantado es el SE.

La **FIGURA 40** muestra algunas fallas presentes en la zona de estudio, la **FIGURA 41** muestra un bloque diagrama geológico para la zona de estudio con el fin de ayudar a comprender el comportamiento estructural de la zona.

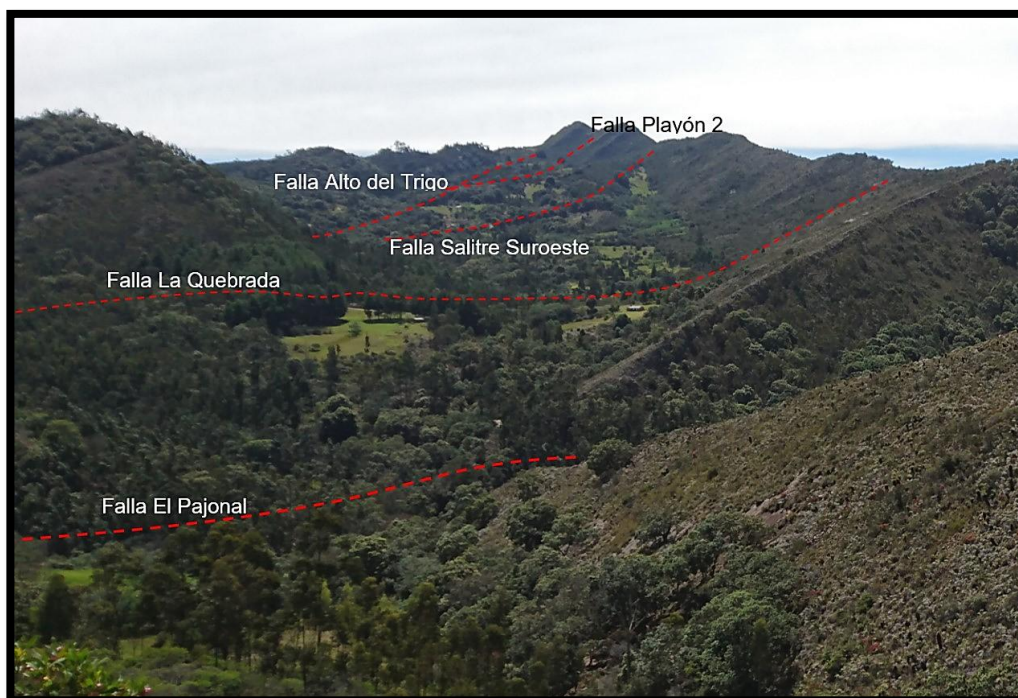


FIGURA 40, panorámica de algunas fallas presentes en la zona de estudio. **Fuente:** autor.

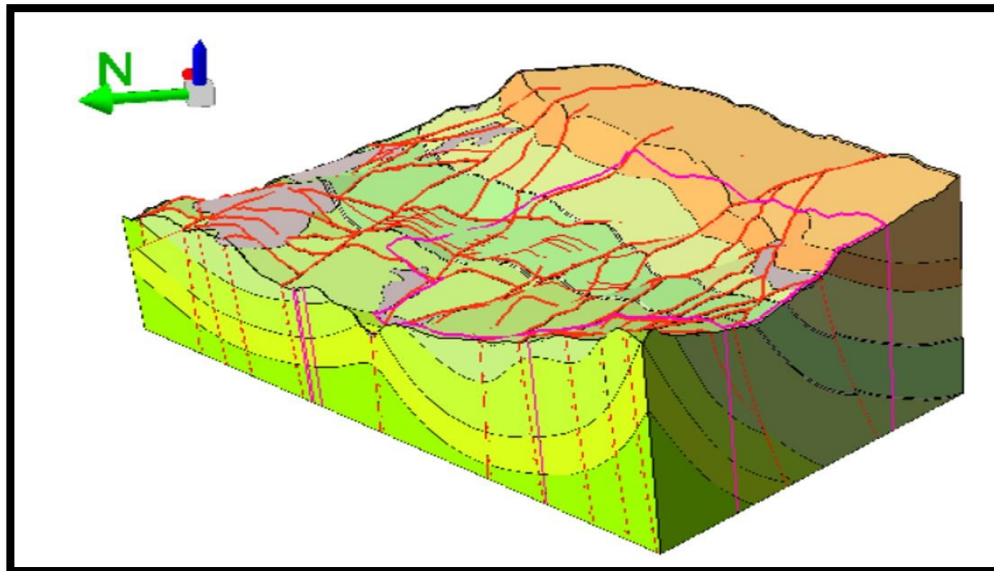


FIGURA 41, bloque diagrama geológico de la zona en estudio. En color magenta los límites del contrato; en rojo paralelo al rumbo los ejes de plegamiento; y atravesando las Formaciones también en rojo las fallas geológicas. **Fuente:** autor.

7.2 GEOLOGÍA DEL TÍTULO MINERO 7241

Estructuralmente el Contrato 7241 se ubica en el flanco noroccidental del Sinclinal Checua – Lenguaque a pocos kilómetros del cierre del mismo. El Sinclinal tiene un rumbo preferencial N50°E con buzamientos promedio de 35° en el flanco de interés y 55° en el flanco suroriental. De sur a norte Inicialmente se conservan las estructuras del vecino Contrato (7240), las cuales consisten en una familia de pliegues (**FIGURA 42**) que en parte finaliza en la falla Las Puertas. A partir de esta falla aparecen fallas normales que fueron indicadas por trabajos anteriores pero que por no existir actualmente labores activas ni planos completos de las antiguas labores no se pudo hacer revisión de las mismas, simplemente se trazaron por discontinuidades vistas en la topografía. También continúa la presencia de fallas transversales generalmente de tipo sinistral (**FIGURA 43**).



FIGURA 42, pliegue anticlinal. **Fuente:** autor.

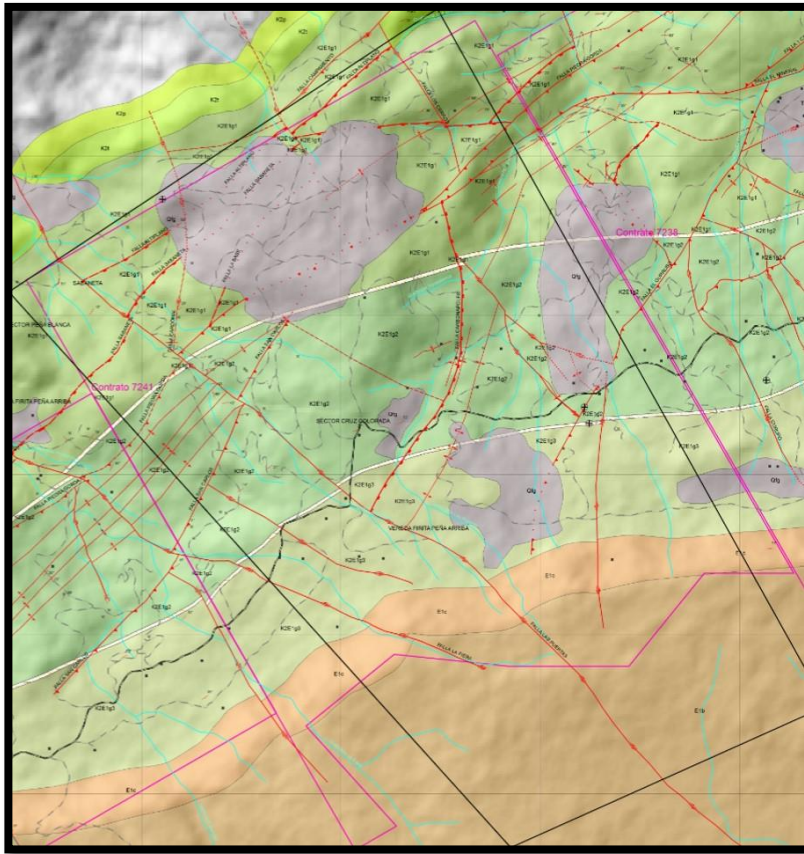


FIGURA 43, mapa geológico del Título minero 7241 a escala 1:10.000. **Fuente:** autor.

Retomando el tema de las fallas normales, cabe decir que estas fallas se relacionan a fuerzas distensivas, lo que indica posiblemente escenarios locales de acomodamiento y relajación de bloques en un ambiente de tectonismo generalmente compresivo. La **FIGURA 44** muestra una pequeña falla normal encontrada superficialmente en el camino de Cipri al campamento militar.

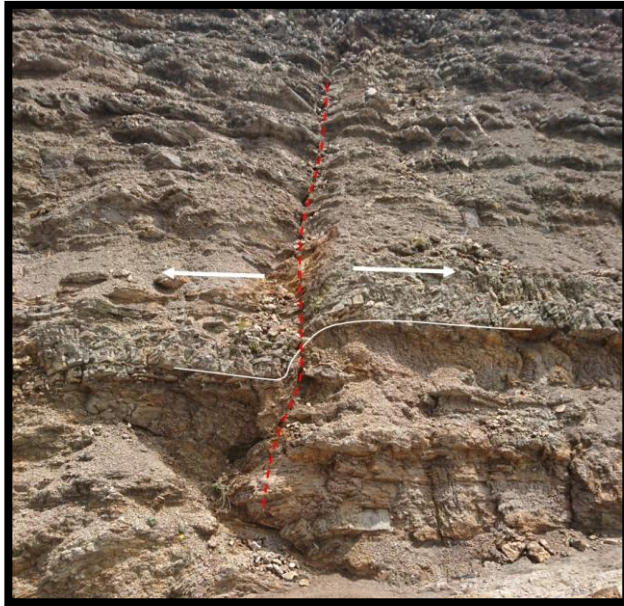


FIGURA 44, pequeña falla normal encontrada en el camino Cipri - Campamento militar. **Fuente:** autor.

Por otro lado se puede decir que la existencia de fuerzas compresivas en sentido rumbo se sustenta en las deformaciones vistas en el Grupo Guadalupe lo que produce zonas deprimidas como la quebrada Pajonal, el sector bajo la base militar y la quebrada Los Buitres entre otros (**FIGURA 45**).



FIGURA 45, parte baja de la base militar la cual coincide con una depresión estructural del Grupo Guadalupe. **Fuente:** autor.

A partir de la zona noreste del Contrato la Formación Labor – Tierna manifiesta la magnitud de las fuerzas compresivas vividas en los últimos eventos tectónicos. La falla Campamento (**FIGURA 46**) es un claro ejemplo de dichos fenómenos (ver descripción de fallas).

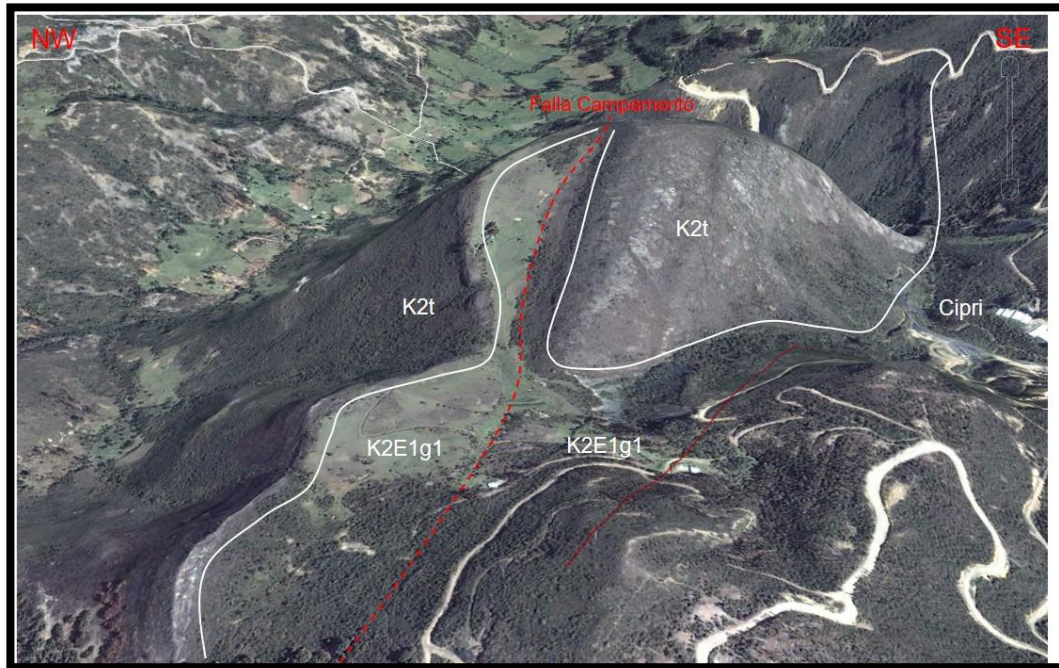


FIGURA 46, imagen satelital de la falla Campamento donde se observa la repetición de la Formación Labor – Tierna ($K2t$). **Fuente:** autor.

También en este contrato nacen deformaciones importantes como la encontrada en Carboinsa; se cree que el sinclinal – anticlinal encontrado allí obedece a la relación pliegue – falla (combinación de comportamiento plástico más rígido) por acción de la falla regional Piedra Gorda. También se destaca el inicio de la falla El Mineral la cual es de gran importancia en el Contrato 7238 y que en el actual Contrato se une a la falla Piedra Gorda (**FIGURA 47 y 48**). La **FIGURA 49** muestra una vista satelital general del contrato 7241.



FIGURA 47, pequeños pliegues cercanos al Sinclinal Carboinsa. **Fuente:** autor.

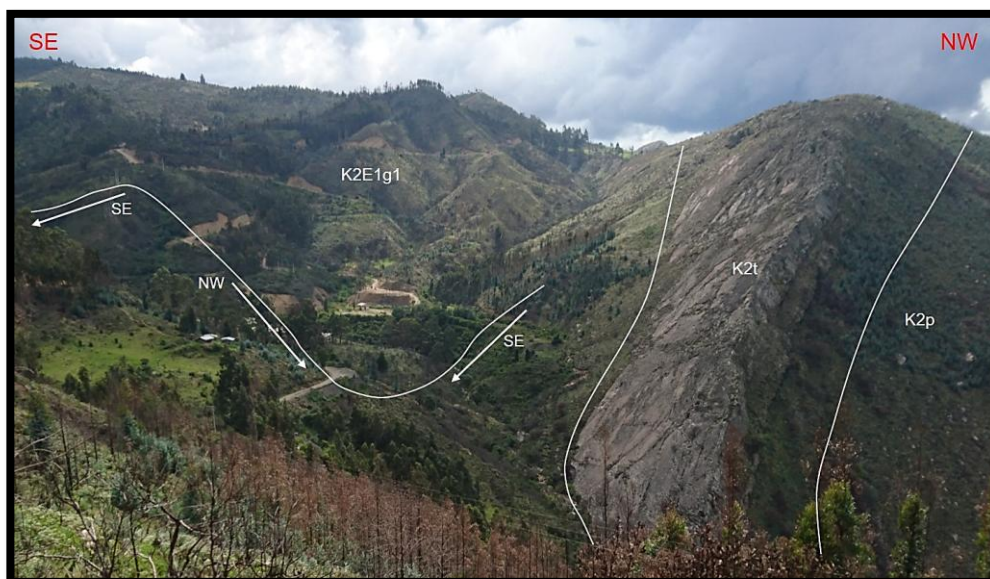


FIGURA 48, inicios del Sinclinal - Anticlinal Carboinsa. **Fuente:** autor.

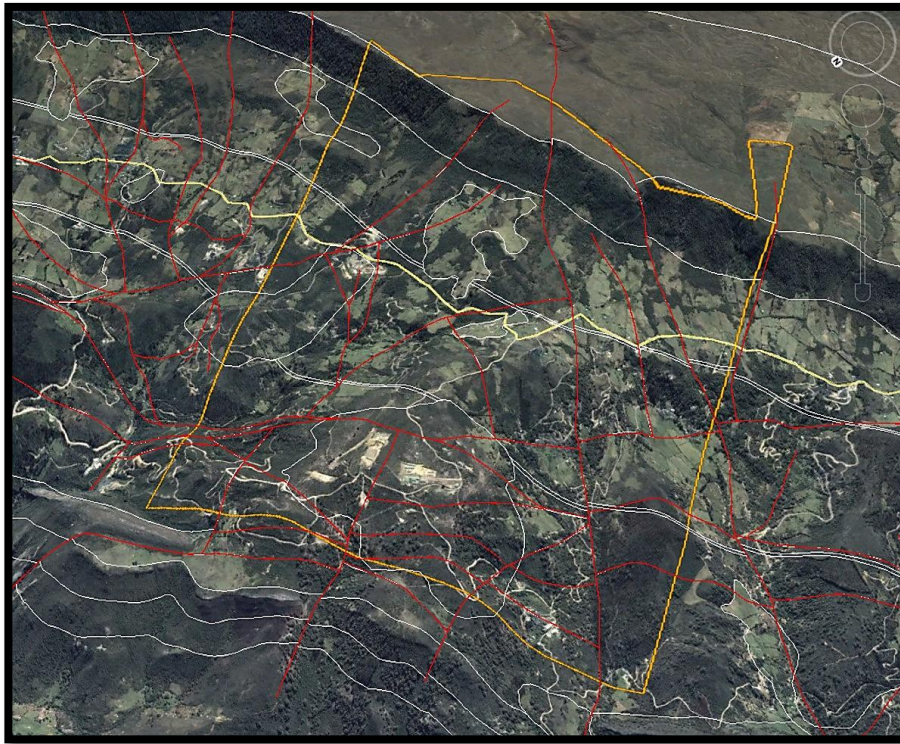


FIGURA 49, imagen satelital con el Contrato 7241 (naranja), fallas geológicas (rojo) y límites estratigráficos (blanco). Fuente Google earth. **Fuente:** Google earth - Autor.

DESCRIPCIÓN DE FALLAS GEOLÓGICAS

FALLA SABANETA: Es una falla normal de dirección $N45^{\circ}E$ siendo el bloque hundido el SE. Es una falla propuesta en trabajos geológicos anteriores y que por la inactividad de las labores mineras a las que se relaciona no pudo ser revisada.

FALLA PIEDRA GORDA: la falla de piedra gorda es una falla inversa de tipo regional. Presenta una dirección $N60^{\circ}E$ y el bloque levantado es el SE. En casi la totalidad de su extensión en este contrato se encuentra cubierta por depósitos cuaternarios. Solo se presume su existencia por inversión de estratos, aparición de areniscas muy duras y crecimiento de pequeños cristales de cuarzo en su paso por la carretera que conduce a la empresa Carboinsa. Como se dijo se cree que el sinclinal – anticlinal encontrado allí obedece a la relación pliegue – falla (combinación de comportamiento plástico más rígido) por acción de esta falla.

FALLA LA FIERA: anteriormente Falla de Sabanetas o Las Puertas. Es una falla sinistral paralela a la quebrada la fiera con dirección $N65^{\circ}W$. Las Labores mineras no han intentado atravesarla pero según el SGC presenta un desplazamiento de 50

metros. Para el contrato 7241 aparentemente limita un bloque carbonífero junto con la falla San Carlos, además limita la explotación en la mina Las Brisas parte SW.

FALLA SAN CARLOS: falla inversa de dirección N30°E que fue identificada en trabajos anteriores y que se presume en labores mineras por la discontinuidad. El bloque levantado es el SE. Aparentemente se relaciona a un pliegue anticlinal que pasa en la bocamina San Carlos.

FALLA ALTIPLANO: falla identificada en trabajos anteriores. Es una falla normal de dirección N56°E siendo el bloque hundido el SE. Por la inactividad de las labores no se tiene mayor información.

FALLA LA BASE: falla identificada en trabajos anteriores. Es una falla normal de dirección N60°E siendo el bloque hundido el SE. Por la inactividad de las labores no se tiene mayor información.

FALLA LOS CERROS: falla identificada en trabajos anteriores. Falla de dirección N35°W de comportamiento dextral. Por la inactividad de las labores no se tiene mayor información.

FALLA DE CARDONAL: falla identificada al occidente de Cipri en labores anteriores. Corresponde a una falla sinistral y su dirección preferencial es Norte. No se cuenta con suficiente información de labores mineras como para definir la magnitud del desplazamiento que produce.

FALLA CAMPAMENTO: es una falla identificada al NE de la base militar justo en la parte superior de los campamentos de CIPRI donde la arenisca tierna muestra un fenómeno particular. Esta falla tiene una dirección N45°E y presenta dos comportamientos; uno como falla de desplazamiento dextral y el otro como falla inversa siendo el bloque levantado el SE. En cuanto a su relación con la Formación carbonífera se descarta la presencia de esta falla en los títulos mineros según las labores desarrolladas.

FALLA LAS PUERTAS: corresponde a una falla sinistral regional identificada por el servicio geológico de dirección N55°W y con desplazamientos de 30 a 50 metros en el Grupo Guadalupe. Los avances en las labores no son suficientes para identificar los desplazamientos en la Formación carbonífera.

FALLA CARBONAPOLES: falla inversa identificada en trabajos anteriores y que se encuentra al oriente de la mina Carbonapoles con dirección predominante n-s. El bloque hundido es el oriental. Fue definida en trabajos anteriores por cuanto se vea la necesidad de atravesar la zona de falla se realizar exploración y reinterpretación de la misma. En las últimas labores desarrolladas en Carbonapoles se observa una especie de sinclinal con ambos flancos de 70° de inclinación. Al lado occidental hubo un adelgazamiento de mantos que anómalamente tenían espesor de 2 metros. En el flanco oriental hubo un aumento de espesor. En superficie los mantos se ven con poca inclinación. A los fenómenos anteriormente descritos intenta responder esta falla.

FALLA EL GURRUBO: es una falla inversa identificada al occidente de la mina El Mortiño. Presenta una dirección $N30^\circ E$. El bloque levantado es el SE. Corresponde igualmente a la falla del costado occidental que se encontró en las explotaciones del manto Comercial por parte del asociado Abel Vargas. Se une a la falla El Mineral en el contrato 7238.

FALLA EL MINERAL: para el contrato 7241 es fácilmente identificable por la morfología abrupta que produce en el paisaje (**FIGURA 50**). Presenta una dirección inicial $N60^\circ E$. El comportamiento de esta falla fue identificado en labores del contrato 7238. Internamente en el proyecto Carboinsa esta falla produjo unos plegamientos internos e incluso al llegar a los carbones se encontró un descenso estratigráfico lo cual se explica con esta falla. Presenta una dirección aproximada de $N45^\circ E$ inclinándose hacia el NW; El bloque noroccidental de la falla se encuentra levantado unos 120 m de desplazamiento vertical, ésta falla continua hacia el norte hacia el valle de Samacá y al suroeste es terminada por la Falla Piedra Gorda.

FALLAS LABORES EVANGELISTA BUITRAGO: En las labores mineras que se desarrollaron en los terrenos del asociado Evangelista Buitrago se encontró una familia de fallas de tipo sinistral con dirección preferencial SW. Los mapas de labores mineras no muestran claramente la magnitud de los desplazamientos encontrados. Se une a la falla Carbonapoles.

La **FIGURA 50** muestra una panorámica de las fallas más importantes para este contrato, la **FIGURA 51** muestra el bloque diagrama geológico para la zona de estudio.



FIGURA 50, parte oriental de la base militar donde se a la falla Piedra Gorda se unen la falla El Mineral y la falla Sabaneta. **Fuente:** Google earth - Autor.

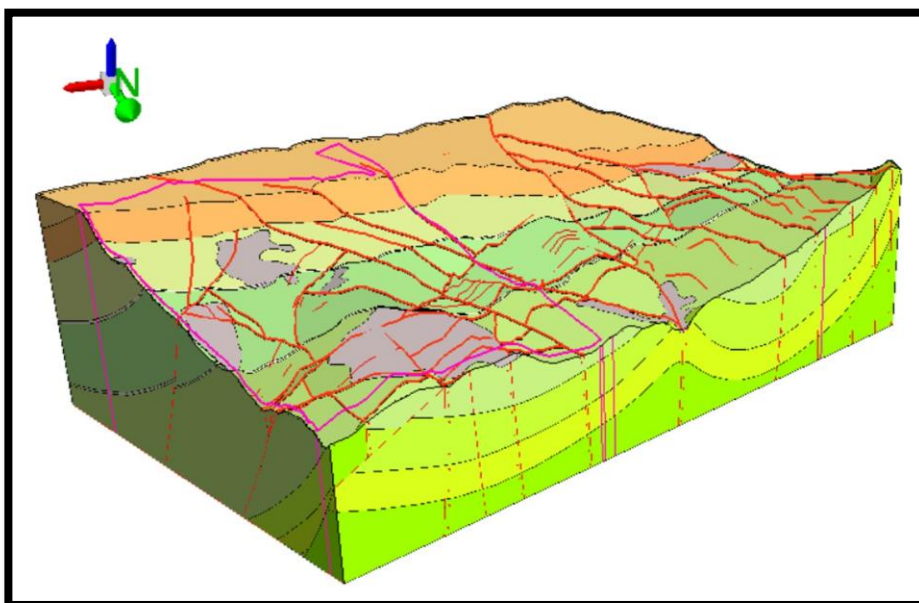


FIGURA 51, bloque diagrama geológico de la zona en estudio. En color magenta los límites del contrato; en rojo paralelo al rumbo los ejes de plegamiento; y atravesando las Formaciones también en rojo las fallas geológicas. **Fuente:** autor.

7.3 GEOLOGÍA DEL TÍTULO MINERO 7238

El Contrato 7238 se ubica en el flanco noroccidental del Sinclinal Checua – Lenguazaque a pocos kilómetros del cierre del mismo. El Sinclinal tiene un rumbo preferencial N50°E con buzamientos promedio de 35° en el flanco de interés y 55° en el flanco suroriental. De sur a norte inicialmente se conserva la geología estructural proveniente del contrato 7241 que se caracteriza por el inicio de estructuras importantes como el sinclinal – anticlinal de Carboinsa, la falla Piedra Gorda, la falla El Mineral entre otros pero adquiriendo mayor importancia pues por acción de estas fallas (especialmente El Mineral) se tiene presencia de pliegues simétricos en niveles carboníferos, desplazamientos de más de 100 metros y el inicio de otras importantes fallas como la falla Los Vientos, la falla Villa Catalina y algunas fallas transversales de tipo sinistral, fenómenos que claramente informan de un ambiente tectónico de tipo compresivo. También hay presencia de algunos pliegues independientes a fallamientos y trazas de fallas normales propuestas en anteriores trabajos, estas últimas que pueden obedecer a fenómenos de acomodación de bloques.

El fenómeno más importante para este contrato es el encontrado en Carboinsa (**FIGURA 52**); se cree que el sinclinal – anticlinal encontrado allí obedece a la relación pliegue – falla (combinación de comportamiento plástico más rígido) por acción de la falla regional Piedra Gorda. Su importancia radica en el proyecto minero desarrollado por C.I. Milpa, el cual consiste un túnel que se une a proyectos como San Miguel (Conjunto Guaduas Medio).



FIGURA 52, panorámica del proyecto Carboinsa que inicialmente consiste en un sinclinal con núcleo K2E1g1; posteriormente es un anticlinal con núcleo Grupo Guadalupe. **Fuente:** autor.

En esta zona de estudio son frecuentes las fallas de tipo inverso con desplazamientos desde los 10 hasta más de 100 metros, también continua la presencia de fallas transversales en su mayoría de tipo sinistral como también se presentan algunos trazos anteriores de fallas normales (**FIGURA 53**). La **FIGURA 54** muestra una panorámica de la zona de estudio en la parte media.

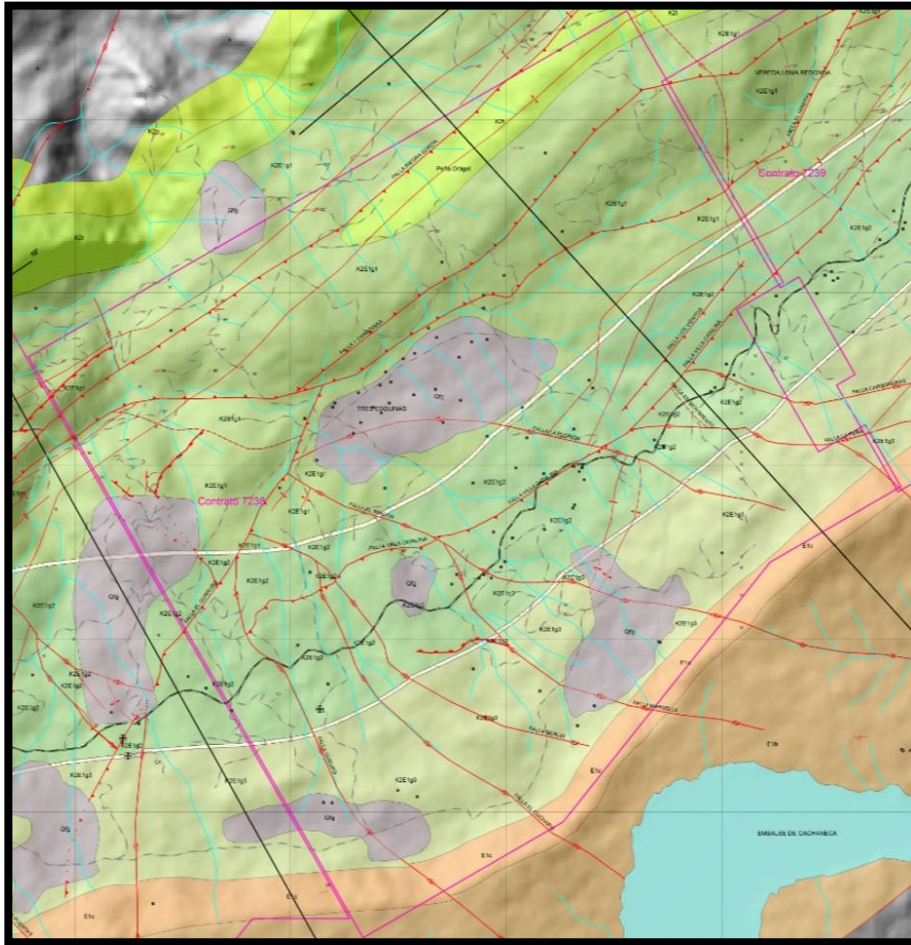


FIGURA 53, mapa geológico del Contrato 7238. **Fuente:** autor.



FIGURA 54, vista de la zona de estudio desde la parte superior. **Fuente:** autor.

Las manifestaciones superficiales de las deformaciones internas de los Conjuntos lodosos de la Formación Guaduas para este contrato casi en su mayoría están cubiertos por depósitos cuaternarios de gran extensión pero en su mayoría de poco espesor. La **FIGURA 55** muestra una panorámica general de la zona de estudio; allí se indican fallas y contactos estratigráficos.

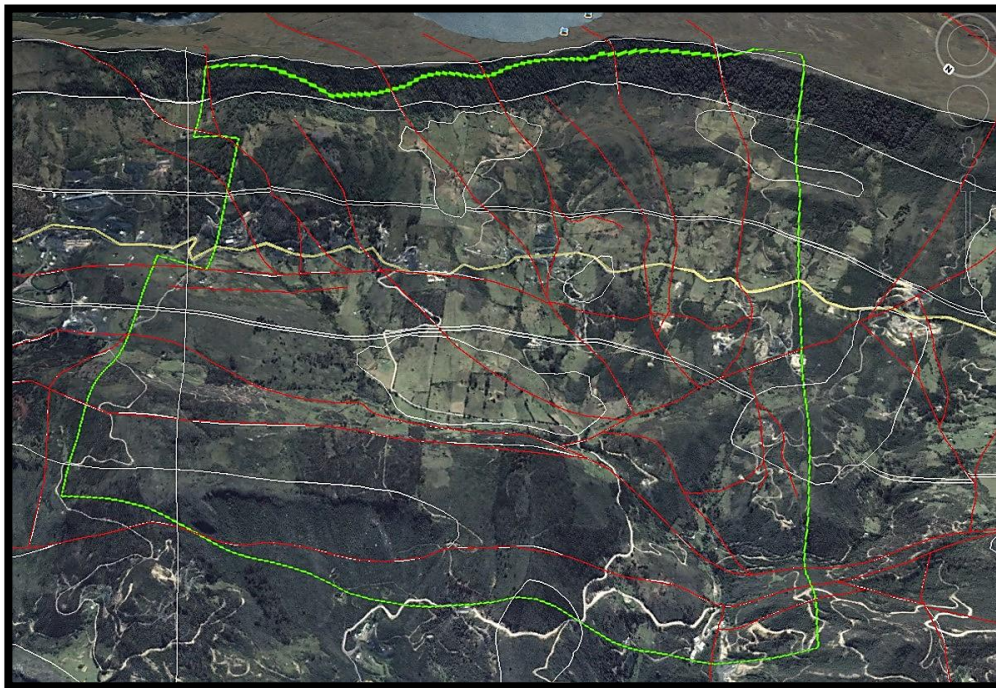


FIGURA 55, imagen satelital con el Contrato 7238 (verde), fallas geológicas (rojo) y límites estratigráficos (blanco). **Fuente:** Google earth. **Fuente:** Google earth - Autor.

DESCRIPCIÓN DE FALLAS GEOLÓGICAS

FALLA PIEDRA GORDA: Falla de tipo regional inversa, presenta una dirección de N 60° SE, se inclina al SE en unos 50°, repite parte de la secuencia del Guadalupe quedando hacia la parte media del Guaduas inferior. Desde el sinclinal de Carboinsa se identifica hacia el oriente una estructura que en partes se ve como un anticlinal asimétrico también identificado como un pliegue de arrastre, pero en partes no se evidencia el plegamiento anticlinal por tanto esta falla intenta responder a este fenómeno.

Su existencia también se presume por inversión de estratos, aparición de areniscas muy duras y crecimiento de pequeños cristales de cuarzo en su paso por la carretera que conduce de la troncal a la empresa Carboinsa. Como se dijo se cree que el sinclinal – anticlinal encontrado allí obedece a la relación pliegue – falla (combinación de comportamiento plástico más rígido) por acción de esta falla.



FIGURA 56, manifestaciones superficiales de la falla Piedra Gorda cerca al cruce Carboinsa - Los Robles. **Fuente:** autor.

FALLA EL GURRUBO: es una falla inversa identificada al occidente de la mina El Mortiño. Presenta una dirección N30°E. El bloque levantado es el SE. Corresponde igualmente a la falla del costado occidental que se encontró en las explotaciones del manto Comercial por parte del asociado Abel Vargas. Se une a la falla El Mineral en este contrato. Además limita por el costado occidental el bloque carbonífero del proyecto minero El Rincón.

FALLA EL MINERAL: Para el contrato 7238 esta falla de tipo inverso puede ser reconocida en fotografías aéreas por el lineamiento que produce paralelo a la quebrada El Mineral. Internamente en el proyecto Carboinsa esta falla produjo unos plegamientos internos e incluso al llegar a los carbones se encontró un descenso estratigráfico. Presenta una dirección aproximada de N45°E inclinándose hacia el NW; afecta principalmente los carbones del Conjunto Guaduas Inferior. El bloque noroccidental de la falla se encuentra levantado unos 120 m en desplazamiento vertical, ésta falla continua hacia el norte hasta el valle de Samacá y al suroeste se une a la Falla Piedra Gorda, presentando una extensión de 5 km aproximadamente.

FALLA GURUPO: es una falla sinistral identificada en trabajos anteriores. Se encuentra al occidente de la mina Villa Catalina limitando el bloque carbonífero. Con el avance en las labores de Villa Catalina se conocerá el desplazamiento en la Formación carbonífera. Presenta una dirección N30°W.

FALLA EL CUCHARO: falla sinistral identificada en la mina El Cucharo, paralela a la falla El Gurupo. Presenta un desplazamiento de hasta 4 metros. Al norte se une con la Falla Berlín.

FALLA BERLIN: es una falla sinistral de dirección N60°W que se encuentra al SW de la mina Berlín. Las labores mineras no se han conectado con el bloque occidental. Se conecta al noroccidente con la falla El Gurrubo.

FALLA MARSELLA: falla sinistral ubicada al oriente de la mina Marsella. Limita el bloque carbonífero de Marsella del bloque oriental (mina Los Silvas). Tiene una dirección N40°W. No se ha atravesado la zona de falla por lo tanto se desconoce la magnitud del desplazamiento.

FALLA EL RINCÓN: falla de tipo sinistral que afecta los trabajos del proyecto minero El Rincón y también de la mina Los Silvas. Presenta una dirección promedio N80°W y desplazamientos medidos en la mina Los Silvas de entre 11 y 15 metros. Se conecta al oriente de la mina el rincón con la falla El Gurrubo formando el bloque carbonífero nombrado El Rincón.

FALLA LA FLORIDA: es una falla sinistral encontrada al SW de la mina La Florida en las explotaciones del manto La Limpia. Presenta una dirección aproximada N58°W con un desplazamiento aproximado de 20 metros.

FALLA LA PEÑA: corresponde a la falla encontrada al interior de la mina La Peña. Según las labores mineras corresponde a una falla sinistral. Presenta una dirección aproximada N70°W y un desplazamiento de 16 a 32 metros. Se conecta al occidente con la falla Villa Catalina.

FALLA CARBONERAS: es una falla sinistral que atraviesa las labores de la mina Carboneras. Presenta una dirección promedio N80°W y desplazamientos de 10 a 14 metros. Se conecta al occidente con la falla Villa Catalina.

FALLA LOS VIENTOS CARBOINSA: la falla Los vientos corresponde a una falla Inversa encontrada en el kilómetro 1.87 del túnel Carboinsa. Según lo indicado por los ingenieros encargados del proyecto por acción de esta falla los mantos subieron 30 metros. Posiblemente esta falla se relacione con la falla Villa Catalina. Presenta una dirección N35°E.

FALLA SATELITE CARBOINSA: en el kilómetro 1.35 del túnel Carboinsa aparece una zona de plegamientos elongados los cuales se intentan explicar con una falla compresiva llamada falla Satelite. Los planos de Carboinsa no cuentan con la proyección de esta falla por lo cual no fue trazada en esta actualización. Cabe decir que existe una proyección de falla también llamada Falla Satelite bajo la Mina La Peña. La poca certeza y conocimiento de estos fallamientos obedecen a la privacidad con que se maneja la información minera de algunas empresas.

FALLA VILLA CATALINA: falla inversa de dirección N40°E y con bloque levantado SE en superficie se identificó un desplazamiento de 7 metros (**FIGURA 57**) y pliegues relacionados. Para contrato 7239 esta discontinuidad se convierte en un pliegue. Posiblemente se relaciona con la falla de Los Vientos del túnel Carboinsa. En el reconocimiento hecho en campo, cerca de la mina Villa Catalina se observó un depósito cuaternario (**FIGURA 58**) de más de 20 metros el cual se encuentra solevado posiblemente por esta falla.

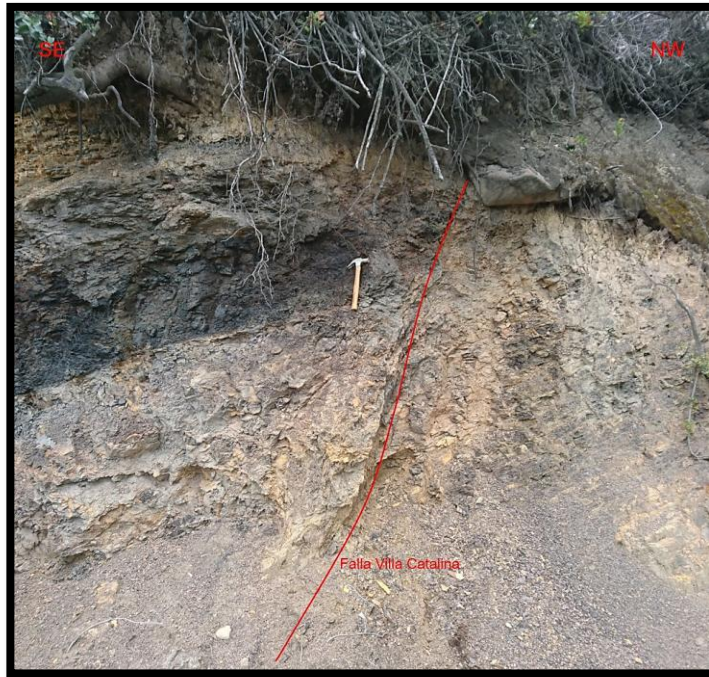


FIGURA 57, vista superficial de la falla Villa Catalina en la carretera que de carboneras Peña Negra conduce al proyecto Carboinsa. **Fuente:** autor.



FIGURA 58, deposito fluvio glacial posiblemente solevado por la falla Villa Catalina. **Fuente:** autor.

FALLA CARBOINSA 1: es una proyección a superficie de la zona de brecha encontrada en la construcción del túnel de Carboinsa. Esta proyección coincide con

un lineamiento observado en la imagen sombreada (Hillshade). Se considera un desplazamiento de 50 metros aproximadamente. Presenta una dirección N53°E y por la interpretación dada corresponde a una falla inversa siendo el bloque levantado el NW. Se une al nororiente a la falla el Mineral

FALLA EN MOVIMIENTO 7238: es una proyección que en superficie se refleja como una zona de continuo fracturamiento y hundimiento de la bancada en la vía Troncal del Carbón. Puede corresponder a la falla La Peña. Tiene una dirección N40W y se une a la falla Villa Catalina al noroeste.

La **FIGURA 59** muestra el bloque diagrama geológico para la zona de estudio.

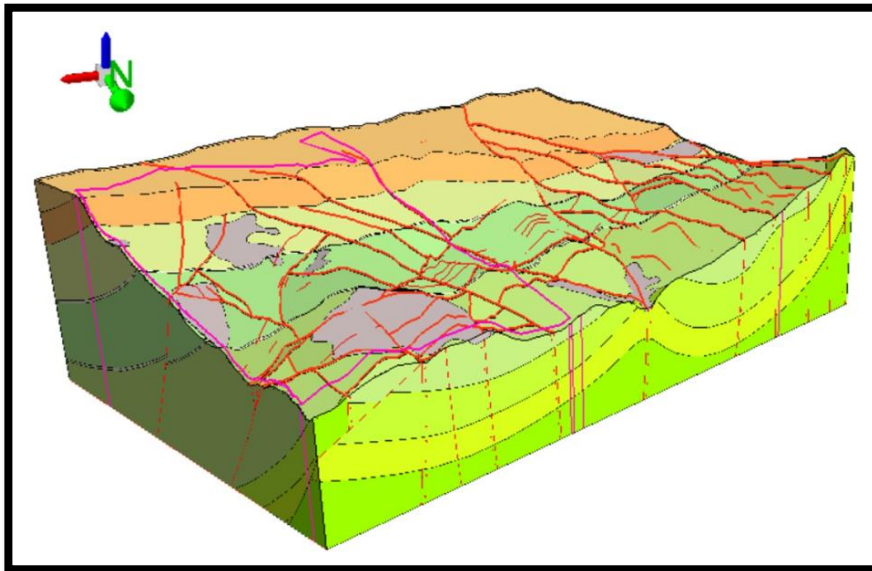


FIGURA 59, bloque diagrama geológico de la zona en estudio. En color magenta los límites del contrato; en rojo paralelo al rumbo los ejes de plegamiento; y atravesando las Formaciones también en rojo las fallas geológicas. **Fuente:** autor.

Respecto a la percepción superficial de las zonas de falla puede se puede decir que mucha de estas zonas se encaminan paralelas a quebradas, también otras coinciden con cambios repentinos de la morfología.

7.4 GEOLOGÍA DEL TÍTULO MINERO 7239

Esta zona de estudio corresponde al tránsito desde el cierre noreste del Sinclinal Checua – Lenguaque (**FIGURA 60**) hasta el depósito cuaternario que conforma el Valle de Samacá. El Sinclinal tiene un rumbo preferencial N50°E con

buzamientos promedio de 35° en el flanco de interés y 55° en el flanco suroriental. Inicialmente se conservan rasgos provenientes del contrato 7238 pero que cambian para este contrato; por ejemplo las fallas regionales como El Mineral y Piedra Gorda continúan en su dirección alejándose del contrato 7239 y reduciendo los sedimentos del Conjunto Guaduas Inferior o como el caso de la falla Villa Catalina cambian su comportamiento de falla inversa para convertirse en un pliegue; también algunos pliegues continúan en su dirección NE hasta finalizar en la falla el Ancón (**FIGURA 61**).



FIGURA 60, panorámica del cierre Sinclinal Checua - Lenguazaque visto desde la vereda Ruchical. **Fuente:** autor.

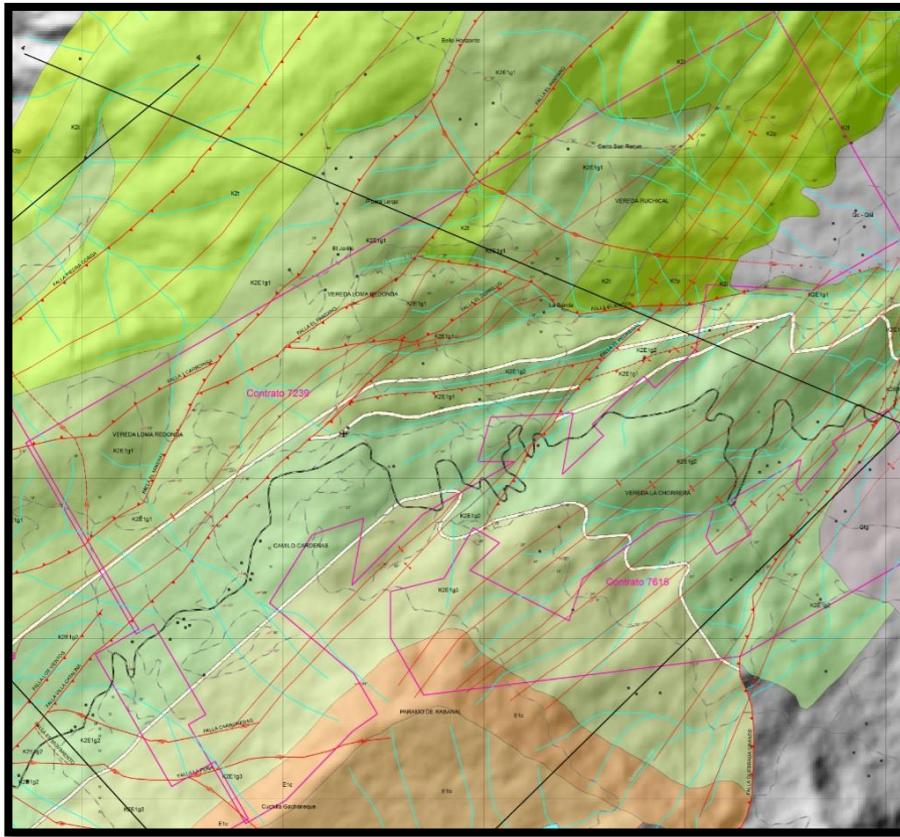


FIGURA 61, mapa geológico del Contrato 7239. **Fuente:** autor.

La presencia de fallas inversas en esta zona es un claro indicador de la tectónica compresiva característica del cierre del Sinclinal, por ejemplo la falla El Ancón de tipo inverso representa un desplazamiento de más de 300 metros; cabe nombrar también la falla El Pedregal gracias a la cual se observa el fenómenos de replegamientos bajo el nivel Arenisca La Guía.

En cuanto a los plegamientos observados incluso en el Grupo Guadalupe representan la magnitud de las fuerzas compresivas en esta zona (**FIGURA 62 y 63**). Cabe decir que los pliegues por donde se desarrollan las explotaciones carboníferas cuentan con gran continuidad y cuando son afectados por fallas los desplazamientos son mínimos a se limita totalmente el bloque carbonífero como se observa en la cartografía geológica.

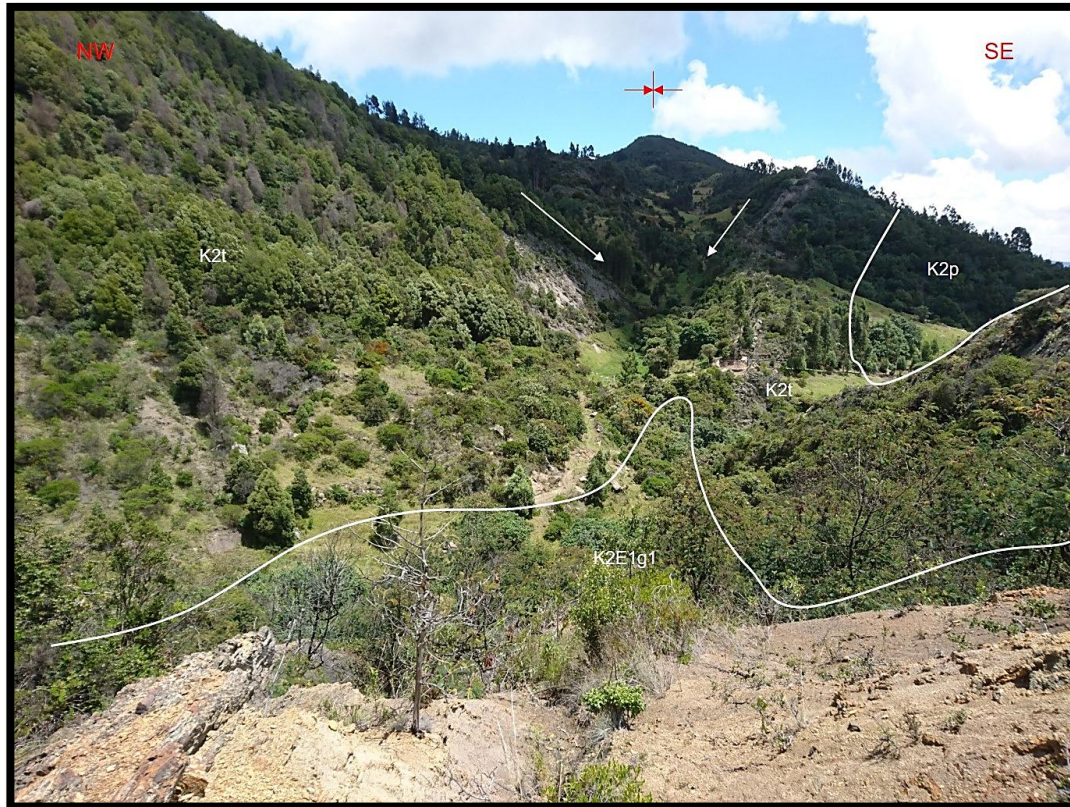


FIGURA 62, pliegue sinclinal apretado en la Formación Labor - Tierna (K2t) y que afecta parte del Conjunto Guaduas Inferior (K2E1g1) en el Cerro San Roque.
Fuente: autor.

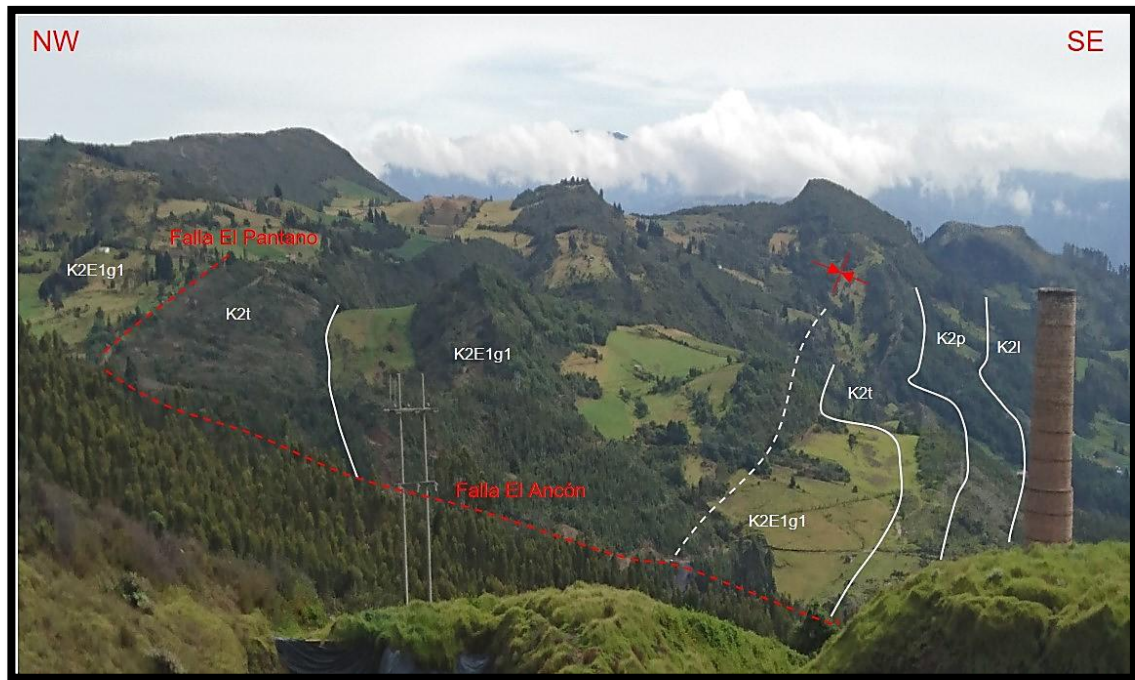


FIGURA 63, sinclinal del Cerro San Roque bajo el cual aflora el Grupo Guadalupe completo (K2t, K2p y K2l). **Fuente:** autor.

La zona donde se trazaron dos Areniscas Guía separadas por fallas inversas inferidas para el año 2008 correspondían o se creía que eran bloques independientes separados por fallas inversas pero las explotaciones carboníferas desarrolladas en los últimos años han permitido descartar la existencia de fallas internas por lo cual se cree que corresponden al mismo nivel sin discontinuidad el cual presenta pequeñas deformaciones y por fenómenos erosivos cuenta con sedimentos del Conjunto Guaduas Medio (muy poco espesor)

La **FIGURA 64** muestra una vista general de la zona de estudio acompañada de las trazas de fallas y contactos estratigráficos.

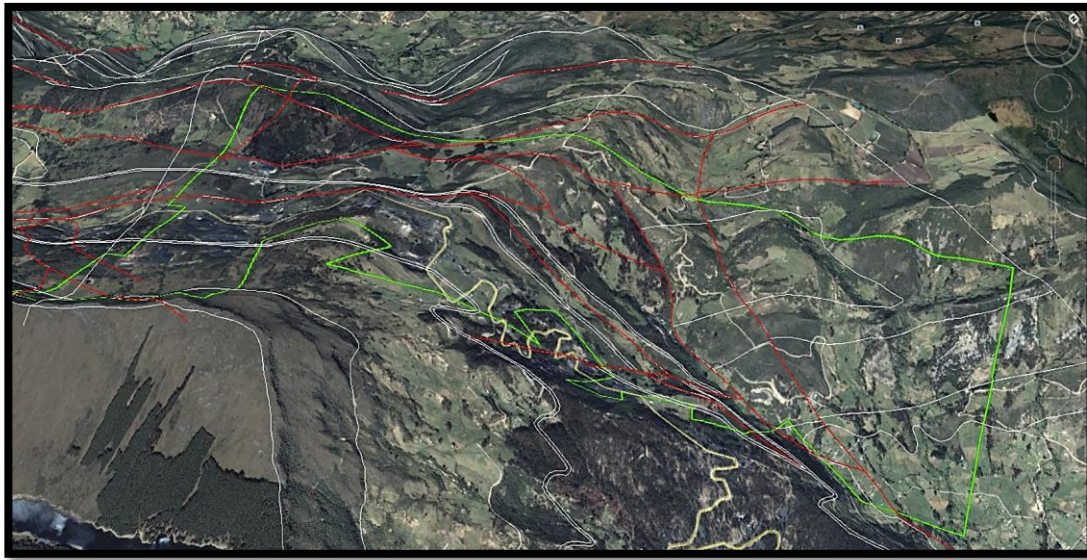


FIGURA 64, imagen satelital con el Contrato 7239 (verde), fallas geológicas (rojo) y límites estratigráficos (blanco). **Fuente:** Google earth. **Fuente:** Google earth - Autor.

DESCRIPCIÓN DE FALLAS GEOLÓGICAS

FALLA PIEDRA GORDA: Falla de tipo regional inversa, presenta una dirección de N 60° SE, se inclina al SE en unos 50°, repite parte de la secuencia del Guadalupe quedando hacia la parte media del Guaduas inferior. Desde el sinclinal de Carboinsa se identifica hacia el oriente una estructura que en partes se ve como un anticlinal asimétrico también identificado como un pliegue de arrastre, pero en partes no se evidencia el plegamiento anticlinal por tanto esta falla intenta responder a este fenómeno.

Su existencia también se presume por inversión de estratos, aparición de areniscas muy duras y crecimiento de pequeños cristales de cuarzo en su paso por la carretera que conduce de la troncal a la empresa Carboinsa. Como se dijo se cree que el sinclinal – anticlinal encontrado allí obedece a la relación pliegue – falla (combinación de comportamiento plástico más rígido) por acción de esta falla.

Para este contrato la existencia de esta falla se infiere de la repetición de la Formación Labor – Tierna hacia la parte norte del contrato (bello horizonte).

FALLA EL MINERAL: Para el contrato 7238 esta falla de tipo inverso puede ser reconocida en fotografías aéreas por el lineamiento que produce paralelo a la quebrada El Mineral. Internamente en el proyecto Carboinsa esta falla produjo unos plegamientos internos e incluso al llegar a los carbones se encontró un descenso estratigráfico. Presenta una dirección aproximada de N45°E inclinándose hacia el NW; afecta principalmente los carbones del Conjunto Guaduas Inferior. El bloque noroccidental de la falla se encuentra levantado unos 120 m en desplazamiento

vertical, ésta falla continua hacia el norte hasta el valle de Samacá y al suroeste se une a la Falla Piedra Gorda, presentando una extensión de 5 km aproximadamente.

FALLA SATELITE CARBOINSA: en el kilómetro 1.35 del túnel Carboinsa aparece una zona de plegamientos elongados los cuales se intentan explicar con una falla compresiva llamada falla Satelite. Los planos de Carboinsa no cuentan con la proyección de esta falla por lo cual no fue trazada en esta actualización. Cabe decir que existe una proyección de falla también llamada Falla Satelite bajo la Mina La Peña. La poca certeza y conocimiento de estos fallamientos obedecen a la privacidad con que se maneja la información minera de algunas empresas.

FALLA VILLA CATALINA: falla inversa de dirección N40°E y con bloque levantado SE en superficie se identificó un desplazamiento de 7 metros y pliegues relacionados. Para contrato 7239 esta discontinuidad se convierte en un pliegue.

FALLA CARBOINSA 1: es una proyección a superficie de la zona de brecha encontrada en la construcción del túnel de Carboinsa. Esta proyección coincide con un lineamiento observado en la imagen sombreada (Hillshade). Se considera un desplazamiento de 50 metros aproximadamente. Presenta una dirección N53°E y por la interpretación dada corresponde a una falla inversa siendo el bloque levantado el NW. Se une al nororiente a la falla el Mineral

FALLA EL PANTANO: es una falla inversa con bloque levantado SE y dirección N35°E. Consiste en una falla que hacia el suroeste limita el bloque carbonífero del sector La Banda y que hacia el noreste en conjunto con la Falla El Ancón traen a superficie un bloque del grupo Guadalupe con algo del conjunto Guaduas inferior poniéndolos en contacto con rocas sedimentarias cercanas al nivel Arenisca La Guía. Al suroeste se une con la falla El mineral y al noreste continúa desplazándose hacia el valle de Samacá.

FALLA EL ZORRILLO: corresponde a una falla inversa de dirección n70°e y desplazamiento de 30 metros siendo el bloque levantado el noroccidental. La superficie de falla tiene una inclinación de 25 grados. Fue identificada en explotaciones del manto bocatoma **FIGURA (65)**.

En el seguimiento de superficie la franja de rompimiento debido a los esfuerzos trata de formar una estructura anticlinal, la cual es observable en el sitio donde se tiene previsto el montaje de la infraestructura minera, donde los estratos presentan buzamientos de 10° hasta horizontales, teniendo en cuenta que en profundidad el

buzamiento promedio es de 24° al SE. Otra importante característica de esta dislocación es que divide al sector carbonífero en dos bloques de explotación independientes; siendo el bloque norte el más complejo tectónicamente para el desarrollo de un proyecto minero, mientras que el bloque sur es mucho más estable y de mayor continuidad lateral y en profundidad, y es donde se localiza el proyecto de La Chozza (PTO Cooprocabon, 2008).



FIGURA 65, vista del área de explotación sureste a la falla El Zorrillo. **Fuente:** autor.

FALLA EL ANCÓN: falla inversa de gran desplazamiento (350 m) el cual se evidencia en el sector La Banda (**FIGURA 66**) por el contacto entre la Formación Labor – Tierna y la parte cercana a la Arenisca La Guía del Conjunto Guaduas Inferior. Presenta una dirección W- E siendo el bloque de techo el bloque norte. Al occidente se une a la Falla El Pantano y al oriente continua en dirección al valle de Samacá. A esta falla se unen fallas como el Zorrillo, el Pedregal y posiblemente la falla Quebrada Grande. Gracias a esta falla es posible observar afloramientos de la Arenisca La Guía en el sector de La Banda.



FIGURA 66, estrías de falla encontradas en bloques de la Formación Labor - Tierna por acción de la falla El Ancón. **Fuente:** autor.

FALLA EL PEDREGAL: Falla inversa de dirección $N30^{\circ}E$ y de bloque levantado el SE presentando un salto aproximado de 100 metros. El origen compresivo de esta falla se evidencia en los plegamientos de sedimentos plásticos bajo la Arenisca La Guía en el sector de La Banda (**FIGURA 67**). Inicialmente se pensaba que se conectaba con la falla Villa Catalina, pero el desarrollo de las explotaciones en La Banda y La Manguita descartaron esta idea por lo cual se corrigió la dirección de esta falla conforme lo propone el SGC (2013).



FIGURA 67, esfuerzos compresivos respecto a la falla El Pedregal reflejados en los pliegues del Conjunto Guaduas Inferior (comportamiento plástico) bajo el nivel Arenisca La Guía (comportamiento más rígido). **Fuente:** autor.

La **FIGURA 68** muestra el bloque diagrama geológico para la zona de estudio.

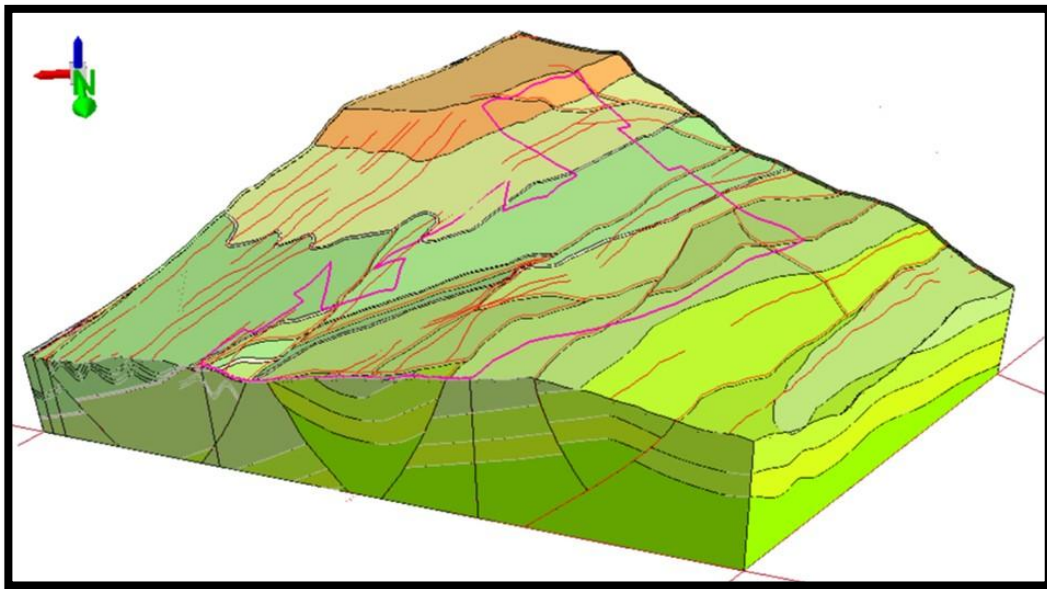


FIGURA 68, bloque diagrama geológico de la zona en estudio. En color magenta los límites del contrato; en rojo paralelo al rumbo y en blanco los ejes de plegamiento (excepto la falla El Ancón); y atravesando las Formaciones también en rojo las fallas geológicas. **Fuente:** autor.

Respecto a la percepción superficial de las zonas de falla puede decirse que muchas de estas zonas se encaminan paralelas a quebradas, también otras coinciden con cambios repentinos de la morfología.

7.5 GEOLOGÍA DEL TÍTULO MINERO 7615

Esta zona de estudio corresponde al cierre noreste del Sinclinal Checua – Lenguazaque (**FIGURA 69**) hasta el depósito cuaternario que conforma el Valle de Samacá. El Sinclinal tiene un rumbo preferencial N50°E con buzamientos promedio de 35° en el flanco de interés y 55° en el flanco suroriental. Desde la parte alta de este contrato se percibe en algunos afloramientos la existencia de pliegues pero determinarlos en su totalidad es un trabajo complicado sin información de labores mineras pues esta zona se caracteriza por estar cubierta con depósitos cuaternarios.

Internamente los ocho pliegues nombrados se caracterizan por ser continuos, solo algunos se fracturan en su máxima curvatura. La continuidad de estos es excepcional (**FIGURA 70 y 71**) y ha permitido explotarlos desde hace muchos años debido a que llegan hasta la parte inicial del Valle e incluso son cortados por la

troncal de carbón donde se encuentran algunas explotaciones independientes a la Cooperativa. De todos los pliegues sobresale el anticlinal y sinclinal El Salto y el sinclinal de Laureles. Los estratos en general presentan un rumbo promedio de N40°E y los buzamientos dependen del flanco de las estructuras, pero oscilan entre 30°SE y 70°NW.



FIGURA 69, panorámica del cierre Sinclinal Checua - Lenguaque visto desde la vereda Ruchical. **Fuente:** autor.

Cabe destacar la plasticidad con la que respondieron estas rocas ante los esfuerzos tectónicos pues únicamente se encontró la falla Quebrada Grande.

DESCRIPCIÓN DE FALLAS GEOLÓGICAS

FALLA QUEBRADA GRANDE: Falla inversa de dirección N30°E y desplazamiento aproximado de 50 m (SGC, 2013) siendo el bloque levantado el NW. Este desplazamiento puede observarse en la carretera que de la vereda salamanca conduce a la represa Gachaneca 2. Es la falla más importante de este contrato y por sus características se evidencian las fuerzas compresivas existentes en el cierre del sinclinal. La zona de falla no ha sido explorada.

La **FIGURA 70** muestra una vista satelital de la zona de estudio donde se indican fallas, pliegues y límites estratigráfico. La **FIGURA 71** muestra el mapa geológico para la zona en estudio y la **FIGURA 72** muestra el bloque diagrama geológico para la zona.

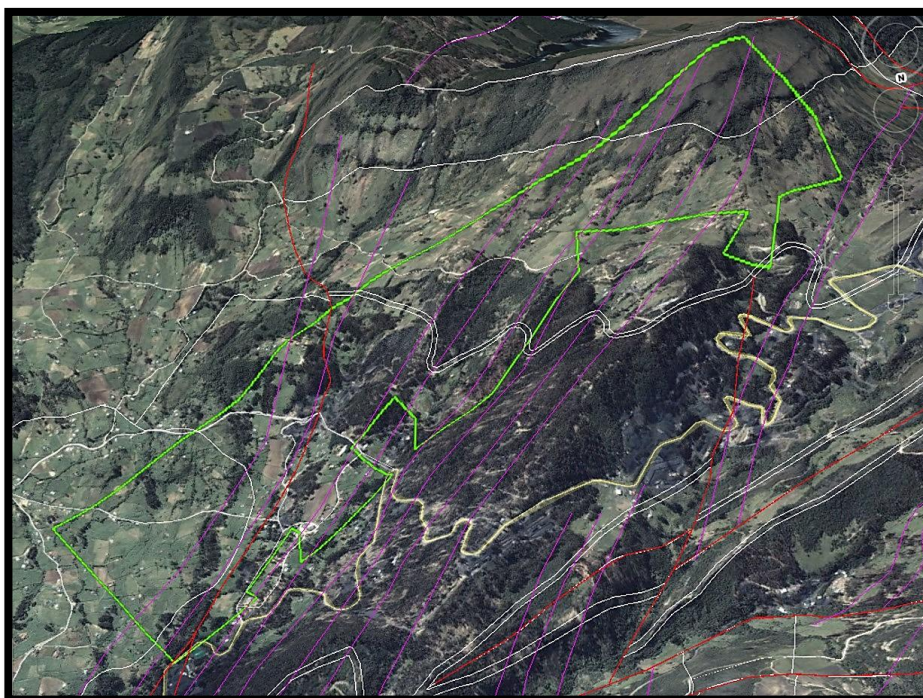


FIGURA 70, imagen satelital con el Contrato 7239 (verde), fallas geológicas (rojo), pliegues (morado) y límites estratigráficos (blanco). **Fuente:** Google earth - Autor.

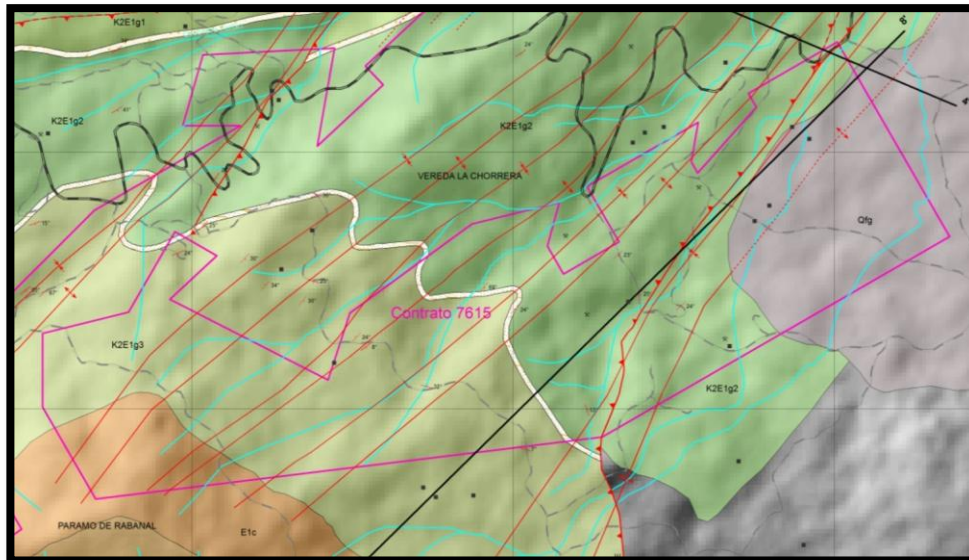


FIGURA 71, mapa geológico para la zona de estudio. Mapa completo en anexos. **Fuente:** autor.

La **FIGURA 72** muestra el bloque diagrama geológico para la zona de estudio.

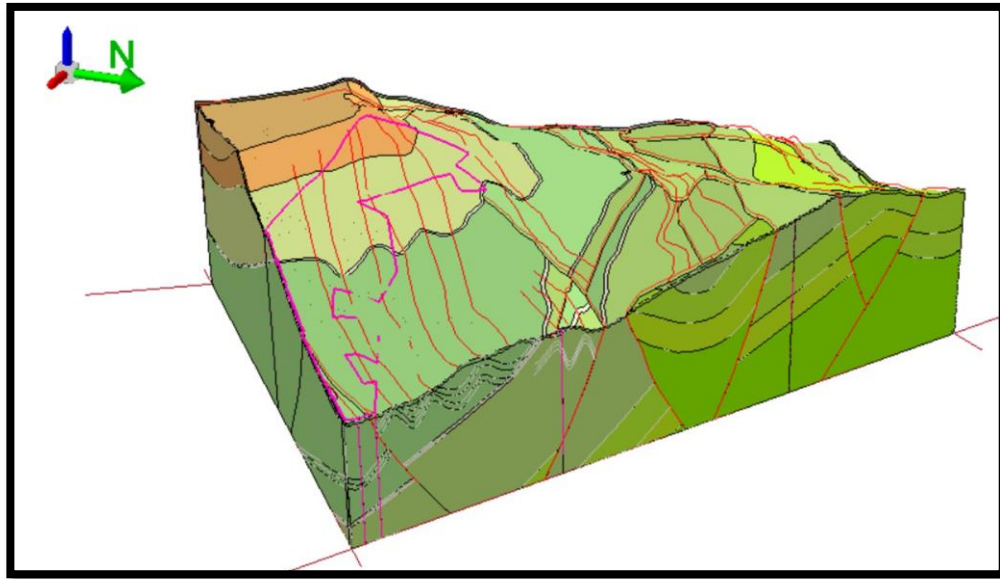


FIGURA 72, bloque diagrama geológico de la zona en estudio. En color magenta los límites del contrato; en rojo paralelo al rumbo y en blanco los ejes de plegamiento (excepto la falla El Ancón); y atravesando las Formaciones también en rojo las fallas geológicas. **Fuente:** autor.

CONCLUSIONES

- El cierre del sinclinal Checua – Lenguaque refleja eventos tectónicos generalmente compresivos aunque no se descartan escenarios de relajación y acomodamiento de bloques representados por fallas normales.
- Las fallas transversales en su mayoría de tipo sinistral se encuentran paralelas lo que infiere una dirección de esfuerzos preferencial en dirección suroeste - noreste.
- El plegamiento de sedimentos en la Formación Guaduas para esta zona se consideran benéficos en temas económicos, pues es posible recorrer una menor área del título minero con mayor extracción del recurso mineral.
- A diferencia del comportamiento que presenta el sinclinal en la zona de Guachetá, la actual zona de estudio que corresponde a su cierre presenta mayores deformaciones y fallamientos lo que implica más complicaciones al momento de explotación del carbón; en contraparte los espesores y calidades de los mantos son excepcionales en esta zona lo que se traduce en una mejor retribución económica.
- Identificar deformaciones y discontinuidades en la Formación Guaduas de forma superficial es un proceso complicado y muchas veces incorrecto pues el comportamiento de estas rocas en respuesta a esfuerzos tectónicos a pesar de presumirse que es de tipo plástico no permite calcular la magnitud exacta de las deformaciones.
- Asociar la información de diferentes fuentes permite obtener resultados más acertados y que den respuesta a mayores interrogantes; por ejemplo la falla Alto Del Trigo solo había sido propuesta por el SGC (2013) y al incluirla en el presente estudio dio respuesta a discontinuidad en los mantos de carbón aproximadamente por donde se propuso la traza de falla.
- Las fallas geológicas encontradas en la formación carbonífera corresponden en su mayoría a fallas de acomodamiento de materiales en respuesta a movimientos tectónicos.
- En la zona de estudio en ciertas labores se encontraron discontinuidades de tipo sedimentario las cuales no se cartografiaron en el presente trabajo.
- Los desplazamientos de bloques observados en las Formaciones de areniscas competentes que resaltan en el paisaje (Cacho y Labor – Tierna) dan información aproximada del tipo y magnitud del desplazamiento de las fallas presentes en la formación carbonífera.
- A las trazas de fallas propuestas en el presente trabajo se relacionan fallas de tipo satélite de menor longitud y desplazamiento las cuales para no saturar

la cartografía no se mapearon aquí. Dichas fallas se encuentran en los mapas de labores mineras del Departamento Técnico.

- Comparando la presente actualización con las labores mineras y las trazas de mantos no se encontró correspondencia con los puntos de afloramientos propuestos en las trazas de mantos de años anteriores por lo cual es indispensable la actualización de las trazas.
- Algunas zonas de falla en labores mineras presentaban areniscas con alto contenido de agua y superficialmente correspondían a quebradas. A futuro se recomiendan estudios de análisis el porqué de la existencia de estas areniscas en los fallamientos.

RECOMENDACIONES

- Es indispensable para tener certeza geológica de los comportamientos de fallas que las superficies de falla no sean afectadas hasta que se realice un reconocimiento geológico, esto permite identificar rasgos como estrías de falla, deformaciones de los mantos, etc. Por tal razón durante el desarrollo del proyecto y en este informe se recomienda a los mineros como tal la pausa de los trabajos mineros al momento de llegar a zonas de falla y la búsqueda de asesoramiento geológico para mejorar los resultados de recuperación de mantos.
- Se recomienda la actualización de las trazas de mantos para el ajuste de los contactos entre los Conjuntos de la Formación Guaduas y la actualización de las reservas de carbón. Para el momento de esa actualización se recomienda considerar los datos de perforaciones hechas en la zona siempre y cuando se pueda acceder a estos.
- Para comprender la relación existente entre fallas transversales dextrales y sinistralas junto con fallas compresivas y distensivas se recomienda el sistema de Riedel (1929). El sistema son un conjunto de varias estructuras tectónicas a causa de dos fallas de rumbo (ver Riedel 1929)
- Las labores mineras muestran variaciones en los espesores de los mantos. se recomienda cartografiar dichos fenómenos en cuanto sea posible para asociar comportamientos similares.
- Se recomienda la creación de una columna litológica detallada (escala 1:200) de los conjuntos productivos con la finalidad de mejorar los resultados en el proceso de recuperación de mantos en zonas de fallas y en las cruzadas de desarrollo minero.
- En la zona de estudio se encontraron pocos pero importantes fenómenos de remoción en masa que afectan la vía trolcal del carbón y algunos campamentos mineros. Se recomienda hacer reconocimiento detallado de los mismos y verificar su posible relación con zonas de fallamiento y fracturamiento.
- Para comprobar e identificar la magnitud de los cambios en los espesores de los mantos de carbón presentes en la zona de estudio y en relación con zonas vecinas como Guachetá se recomienda una correlación litoestratigráfica.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, R. (1979). *INFORME GEOLÓGICO MINERO DE LAS ZONAS DE LAS LICENCIAS N° 7615-7238-7239-7240-7241*. SAMACÁ.
- Calderón, J., Cortes, J., Romero, F., Carvajal, H. 2004. Propuesta Metodológica para el Desarrollo de la Cartografía Geomorfológica para la Zonificación Geomecánica. SGC. Bogotá.
- Campbell, C. (1962). Lamina, lamina set, bed and bedset. *Sedimentology*, 8:7-26.
- Cooprocarril, D. T. de. (2008). *Reporte Geológico PTO 2008*. SAMACÁ.
- De Porta de J. (1965). Estratigrafía del Cretácico Superior y Terciario en el extremo sur del Valle Medio del Magdalena. *UIS: Bol. Geol.*, 19: 5-50. Bucaramanga.
- Etayo-Serna, F., (1964) Posición de las faunas en los depósitos del Cretácico colombianos y su valor en la subdivisión cronológica de los mismos. *UIS. Bol. Geol.*, 16-17: 5-142. Bucaramanga.
- Follmi, K; Garrison. R; Ramirez, P; Zabrano, Kennedy W.
J; Lehner L. (1992). CYCLIC PHOSPHATE-RICH SUCCESSIONS IN THE UPPER CRETACEOUS OF Colombia. *Paleogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology*, 93:151-182.
- Fuquen, J; Osorno, J. (2005). *Geología de la plancha 190-chiquinquirá*. xxx. Bogotá.
- Hernandez, H. (2008). *PRÁCTICA PROFESIONAL: MEMORIAS DE LOS CRONOGRAMAS DE ACTIVIDADES Y COMPARACION DE RENDIMIENTOS TEORICOS Y PRACTICOS POR MEDIO DE TIEMPOS DE EJECUCION DE OBRA*. Medellin.
- Hettner, A. (1892). Die Kordillere von Bogotá. *Peterm. mitt., Egr.-Bd-22, Heft no.104*, 131 pp., 9fig., 2taf. (Kart., Prof.).
- Hoorn, K; Kaandorp, M. & Roele, J. (1987- 1988). Tertiary sedments of the Usme Valley Colombia: a palynological and stratigraphical approach. Hugo de Vries Laboratory, Amsterdam. 28p. Amsterdam.
- Hubach, E., (1931). Geología petrolífera del departamento de Norte de Santander. *Ingeominas. CECOG.*, 12:1-337. Bogotá.
- Hubach, E. (1957). *ESTRATIGRAFIA DE LA SABANA DE BOGOTA Y*

ALREDEDORES. Bogota: Boletín Geológico.

- McLaughlin, D. (1970). The evaporite deposits of the Bogotá Area Cordillera Oriental, Colombia. U.S. Geological Survey. Project Report Colombia Investigations IR CO-16. U.S. Geological Survey. 74p. Washington.
- McLaughlin, D. & Arce, M. (1972). Geología del Area Zipaquirá (Zona IV). Informe Preliminar 109. INGEOMINAS. 267p. Bogotá.
- McLaughlin, D. & Arce, M. 1975. Mapa geológico del área Zipaquirá (Zona IV). INGEOMINAS. Bogotá.
- Ingeominas. (2004). *EL CARBÓN COLOMBIANO*. Bogota.
- Montoya, D; Reyes, G. (2003). *Geología de la plancha 209 zipaquirá. Servicio Geológico Colombiano*. Bogotá.
- Montoya, D; Reyes, G. (2005). *Geología de la sabana de bogotá* (No. 2). Bogotá.
- Nigrinis, R.; Herrera, B.; Blanco, G. (1975). Cuenca carbonífera Checua - Lenguazaque, Informe 1671, INGEOMINAS, INGEOMINAS, Bogotá.
- Pérez, G; Salazar, A. (1978). ESTRATIGRAFIA Y FACIES DEL GRUPO GUADALUPE. *Geología Colombiana*, 10, 6–85. Retrieved from <http://revistas.unal.edu.co/index.php/geocol/article/view/30407>
- Renzoni, G. (1962). Apuntes acerca de la litología y tectónica de la zona al este y sureste de Bogotá. Servicio Geológico Nacional. Bol. Geol., 1-3: 59-79. Bogotá.
- Renzoni, G. (1968). Geología del Macizo de Quetame. U. Nal., Geol. Col., 5: 5-74. Bogotá
- Renzoni, G. (1981). Geología del cuadrángulo J-12 Tunja. Instituto Nacional de Investigaciones Geológicas Mineras. Informe 1546. Bol. Geol. 24(2): 33-48. Bogotá.
- RENZONI, G., ROSAS, H., ETAYO, F., 1983. Mapa geológico de la Plancha 191 – Tunja. INGEOMINAS. Bogotá.
- Sarmiento, G. (1992). Palinología de la Formación Guaduas - Estratigrafía y Sistemática. INGEOMINAS. Bol. Geol., 32 (1-3): 45-126. Santafé de Bogotá.
- Sarmiento, G (1992). Estratigrafía, procedencia, subsidencia y exhumación de las unidades paleógenas en el Sinclinal de Usme, sur de la zona axial de la Cordillera Oriental. Geol. Col., 35: 5-35. Bogotá.

- Sarmiento, G. (1994)a. Estratigrafía y medios del depósito de la Formación Guaduas. INGEOMINAS, Pub. Geol. Esp., 20. 1-44. Bogotá
- Sarmiento, G. (1994)b. Visión regional de la Formación Guaduas. INGEOMINAS. Pub. Geol. Esp., 20:167-184. Bogotá.
- SGC; Duarte, C; Parra, F(2013). *EXPLORACIÓN GAS METANO ASOCIADO AL CARBÓN. ÁREA CHECUA - LENGUAZAQUE. GUACHETA-SAMACÁ*. Bogotá.
- Ulloa, C; Rodriguez, M; Renzi, G. (1976). GEOLOGÍA DE LAS PLANCHAS 171 DUITAMA, 191 TUNJA, 211 TAURAMENA Y 230 MONTERREY CUADRÁNGULOS J – 12 Y K – 13 ESCALA. *Boletín Geológico*, 24, numero(1976), 55.
- Ulloa, C. & Rodriguez, E. (1991). Memoria explicativa Plancha 190. Chiquinquirá (Departamento de Boyacá). INGEOMINAS. Bogotá.
- UPTC. (2014). REGLAMENTO PARA LA PRESENTACIÓN de Trabajos de Grado. TUNJA.
- Van der Hammen, T. (1957). Estratigrafía palinológica de la Sabana de Bogotá, Cordillera Oriental de Colombia. INGEOMINAS, Bol. Geol., 5(2):189-203
- VARGAS, GERMAN. 2001. Geomorfología de la sabana de Bogotá. Informe inédito. 21 p. Bogotá.
- Vera, C. (2014). *INFORME DE PRÁCTICA PROFESIONAL III CI6901. SANTIAGO DE CHILE*.
- Vergara, L. & Rodriguez, G. (1997). The Upper Cretaceous and Lower Paleocene of the Eastern Bogota Plateau and Llanos Thrustbelt, Colombia: Alternative Appraisal to the Nomenclature and Sequence Stratigraphy. U. Nal. Geol. Col., 22:51-79